

Tampereen Ammattikorkeakoulu
Paperitekniiikan koulutusohjelma
Juuso Saloranta

Opinnäytetyö

ERI ARKINVALMISTUSTAPOJEN VERTAILU

Työn ohjaaja
Työn teettäjä

Tampere 2/2009

TkL Päivi Viitaharju
AB Lorentzen & Wettre, ohjaajana myyntipäällikkö
Pekka Pöysä

Tekijä	Juuso Saloranta
Työn nimi	Eri arkin valmistustapojen vertailu
Sivumäärä	51 sivua + 2 liitesivua
Työn valmistumis- kuukausi ja vuosi	02/2009
Työn ohjaaja	TkL Päivi Viitaharju
Työn tilaaja	Oy Lorentzen & Wettre AB

TIIVISTELMÄ

Tämän työn teetti OY Lorentzen & Wettre AB, joka on kansainvälinen paperin valmistus- ja mittausrakennuksiin laitteita valmistava yritys. Työn tavoitteena oli selvittää kahden erilaisen arkin valmistuslaitteiston erot. Perinteisellä arkkimuotilla arkit puristetaan ja kuivataan erillisillä laitteilla, mutta uudessa arkin valmistuslaitteistossa ne tehdään samalla laitteella. . Muodoltaan perinteisellä arkkimuotilla valmistetut arkit ovat neliön muotoisia ja uudella pyöreitä. Tavoitteen saavuttamiseksi molemmilla arkkimuoteilla valmistettiin arkkeja kolmesta eri massasta. Arkeista tutkittiin arkkimuottien aiheuttamia eroja paperin perus-, pinta-, lujuus- ja optisissa ominaisuuksissa.

Työ aloitettiin jauhamalla kolmea eri massaa. Koivu- ja mäntyselästä tehtiin kolme ja kemikaalisesta massasta kaksi eri jauhatustavetta. Tämän jälkeen massoista valmistettiin 40 kappaletta laboratorioarkkeja molemmilla arkin valmistustavoilla.

Arkkien valmistuksen jälkeen papereista mitattiin niiden ominaisuudet, joiden pohjalta voitiin vertailla arkkimuoteista johtuvia eroja.

Työn mittauksen perusteella päätettiin uudella arkkimuotilla valmistettujen arkkien pintojen olevan erittäin paljon sileämpiä kuin perinteisellä arkkimuotilla valmistettujen.. Myös optisissa ominaisuuksissa saatiin hieman parempia arvoja uudella arkkimuotilla valmistetuissa arkeissa. Esimerkiksi uudella arkkimuotilla valmistetuissa arkeissa mitattiin vaaleudessa 0 - 5 % korkeampia arvoja. Lujuusominaisuuksissa vetolujuus- ja repäisylujuusindeksin mittaauksissa ei saatu merkitseviä eroja arkkimuottien välille. Perinteisellä arkkimuotilla tehdyissä arkeissa saatiin korkeammat arvot murtositkeys- ja puhkaisulujuusindeksissä. Murtositkeys- ja puhkaisulujuusindeksissä mitattiin perinteisellä arkkimuotilla tehdyissä arkeissa kymmenien prosenttien eroja uuteen arkkimuottiin verrattuna. Ainoastaan z-lujuudessa saatiin korkeammat lujuudet uudella arkkimuotilla, jotka olivat 30 % - 80 % korkeampia kuin perinteisellä arkkimuotilla tehdyissä arkeissa.

Writer(s)	Juuso Saloranta
Thesis	Comparison of different sheet manufacturing methods
Pages	51 pages + 2 appendices
Month and Year of Completion	02/2009
Thesis Supervisor	Lic. Tech. Päivi Viitaharju
Co-operating Company	Lorentzen & Wettre ltd,

ABSTRACT

This thesis is done for Lorentzen & Wettre ltd, which is an international company manufacturing devices for paper manufacturing and measuring. The aim of this study was to determine the differences between two different methods in the paper sheet. To accomplish this goal sheets with both methods were made from three different pulps. Differences in papers basic, surface, strength and optical properties caused by sheet mould were studied.

Work was started by refining three different pulps. Birch and pine pulps were refined with three and chemimechanical pulp with two different refining times. After this 40 sheets were made from each pulp and by both manufacturing methods.

After this sheets' properties were measured and differences caused by sheet mould could be compared.

Based on the measurements it was concluded that the sheets made with the new sheet mould had significantly smoother surface. Also in optical measurements slightly better values were achieved using the new sheet mould. In strength properties values of tensile strength and tearing strength properties were equal. The sheets made with the conventional sheet mould had higher values in fracture toughness index and bursting strength index. Z-directional strength had higher values using the new sheet mould.

.

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	6
2 Arkin valmistuslaitteistot ja niiden rakenteet.....	7
2.1 Perinteisen arkin valmistuslaitteiston rakenne.....	7
2.2 Arkin valmistus perinteisellä laitteistolla.....	8
2.3 Uuden arkin valmistuslaitteiston rakenne.....	9
2.4 Arkin valmistus uudella laitteistolla.....	10
3 Massojen ja arkkien valmistus.....	12
3.1 Massan kuiva-aineen määrittäminen.....	12
3.2 Massan jauhatus.....	13
3.3 Massojen SR- ja CSF-luvut.....	14
3.3.1 Massan Canadian Standard Freeness -luku (CSF-luku).....	14
3.3.2 Massan Schopper-Riegler-luku (SR-luku).....	14
3.4 Arkkien valmistus.....	15
Mittausmenetelmät ja tulokset.....	17
4.1 Neliömassa.....	17
4.2 Paksuus, tiheys ja bulkki.....	19
4.3 Karheus ja ilmanläpäisy.....	23
4.4 Opasiteetti, vaaleus, valon sironta ja –absorption.....	30
4.5 Vetolujuus-, murtositkeys- ja vetojäykkyysindeksi.....	36
4.6 Z-lujuus.....	41
4.7 Puhkaisulujuusindeksi.....	44
4.8 Repäisylujuusindeksi.....	46
5.Yhteenveto.....	48
Lähdeluettelo.....	51
Liitteet	
Mittaustulokset	

Alkusanat

Tämän työn on tehty Oy Lorentzen & Wettre AB:n toimeksiannosta ja työ on tehty Tampereen ammattikorkeakoululla lokakuun 2008 ja helmikuun 2009 välisenä aikana.

Haluan kiittää Lorentzen & Wettren myyntipäällikköä Pekka Pöysää yhteistyöstä ja ammattitaitoisesta avusta. Lisäksi suuret kiitokset avusta kuuluvat myös työni ohjaajalle Päivi Viitaharjulle sekä laboratoriomestari Tiina Kolari-Vuoriolle.

Tampereella helmikuussa 2009

Juuso Saloranta

1 Johdanto

Lorentzen & Wettre Ab on johtava kansainvälinen paperin laadun tarkkailu- ja valmistusprosessin optimointilaitteiden valmistaja. Sen tuotevalikoimaan kuuluvat useat erilaiset paperin ja massan ominaisuuksia mittaavat laitteet. /7/

Paperia on valmistettu jo kauan laboratorio-olosuhteissakin. Tarkoituksena on ollut kehittää ja testata massoja ja paperilajeja. Valmistamalla laboratorioarkkeja on päästy mittaamaan paperin eri ominaisuuksia jo ennen varsinaista testiajoa oikealla paperikoneella.

Lorentzen & Wettre on jo useita vuosia myynyt perinteisen mallista arkkimuottia. Nyt vanhan arkkimuotin valmistuksen loputtua on markkinoille tullut uusi kehittyneempi versio arkkimuotista. Arkkien valmistustavat poikkeavat hyvin paljon toisistaan. Opinnäytetyö on teetetty, jotta saataisiin selville eri arkin valmistustapojen erot paperin ominaisuuksissa.

Työssä tutkittiin uuden arkkimuotin eroja vanhaan ja markkinoilta poistuneeseen arkkimuottiin paperin pinta-, lujuus- ja optisissa ominaisuuksissa.

Opinnäytetyön alussa on selvitetty paperiarkkien valmistustavat eri arkkimuoteilla laboratorio-olosuhteissa. Lisäksi on verrattu eri arkinvalmistustapojen käytännön eroja sekä laitteiston että arkin valmistusprosessin kohdalta. Kokeellisessa osassa on jauhettu massoja, jonka jälkeen on valmistettu arkit eri arkkimuoteilla ja mitattu niiden ominaisuuksien välisiä eroja.

Työssä on käytetty kahta eri kemiallista massaa ja yhtä mekaanista massaa, joista kemiallisista massoista valmistettiin molemmista kolme ja mekaanisesta kaksi eri jauhusta. Työssä on niin käytetty kahdeksaa eri massaa.

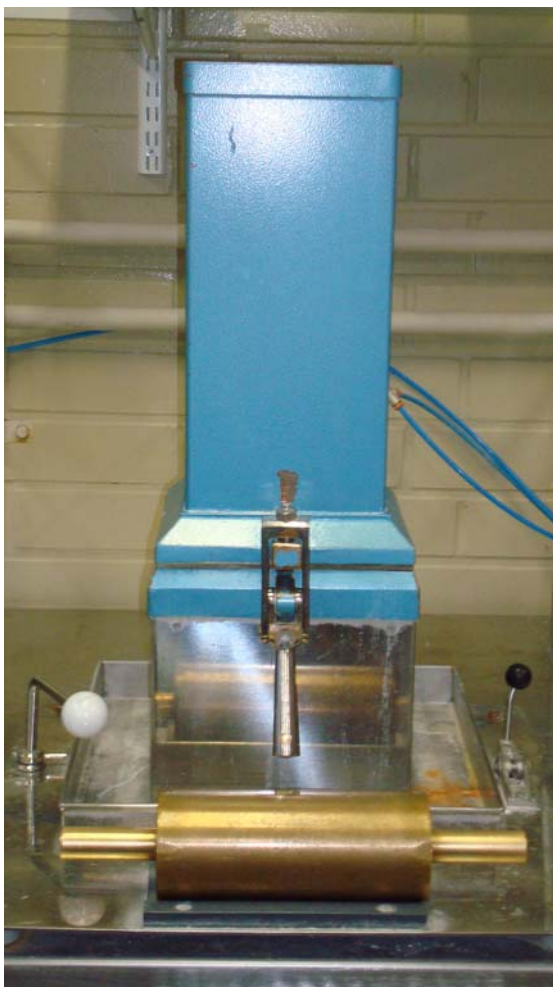
2 Arkin valmistuslaitteistot ja niiden rakenteet

Massan määrittäminen ja soveltuvuus tietyn tuotteen materiaaliksi tapahtuu pääasiallisesti tutkimusta varten valmistetuista laboratorioarkeista. Laboratorioolosuhteissa valmistettu arkki simuloi paperikoneprosessia. Laboratorioarkin ominaisuudet eivät kuitenkaan ole samat kuin vastaavasta massasta oikealla paperikoneella tehdyssä paperissa, vaan laboratorioarkkien tulosten vertaamisen apuna täytyy aina käyttää jotain tunnettua referenssiaineistoa tai -massaa. /3/

2.1 Perinteisen arkin valmistustavan rakenne

Perinteinen arkin valmistus perustuu kolmeen tarvittavaan laitteeseen, jotka ovat arkkimuotti, puristin ja kuivausrumpu. Kuivausrummun ohella kuivatuksessa voidaan myös käyttää kuivatuslevyjä, jolloin arkit kuivataan vakioilmastohuoneessa. /3/

Arkkimuotin yläsäiliö on rakenteeltaan suorakulmaisen särmiön muotoinen, jonka alareunassa on arkkimuotin viira. Viiran alapuolinen osa on nimeltään imujalka, johon on johdettu vesijohtoverkosta tuorevesiventtiili. Imujalan pohjalla on myös arkkimuotin vedenpoistovenktiili, jonka kautta suotautunut massan osa ohjataan viemäriin. Vanhassa arkkimuotissa ei ole integroitua puristusta ja kuivausta, joten ne tehdään erillisillä puristimilla ja kuivaimilla. Kuviossa 1 on esitetty Lorentzen & Wettren arkkimuotti. /3/



Kuvio 1. Lorentzen & Wettren perinteinen arkkimuotti

2.2 Arkin valmistus perinteisellä laitteistolla

Arkin valmistus perinteisellä arkkimuotilla aloitetaan laimentamalla jauhettu massa haluttuun sakeuteen. Massaa sekoitetaan huolella, jonka jälkeen siitä mitataan astiaan haluttuun neliömassaan tarvittava määrä. Tämän jälkeen avataan tuorevesiventtiili, jolla täytetään arkkimuotti tiettyyn rajaan asti vesijohtovedellä. Arkkimuotin särmiön täytettyä vedellä kaadetaan sulppu muotin sisään ja käynnistetään sekoitus. Sekoituksen pysähtyttyä avataan vedenpoistiventtiili ja odotetaan sulpun suotautuminen viiran läpi.

/3/

Ylimääräisen veden poistamisen jälkeen avataan arkkimuotti, jolloin raina on muodostunut viiran päälle. Rainan päälle asetetaan imukartonki, jonka päältä kaulitaan arkkimuottiin kuuluvalla messinkitelalla viisi kertaa edestakaisin, jolloin telaa ei saa painaa voimalla arkki vasten. Tämän jälkeen arkki nostetaan imukartongin kanssa

pinoamiskehikkoon, laitetaan päällä välikartongit ja aloitetaan seuraavan arkin valmistus. /3/

Kun arkkeja on valmistettu tarvittava määrä, siirretään arkit pinoamiskehikosta puristimeen. Arkkeja puristetaan 490 kPa:n paineessa neljän minuutin ajan, jonka jälkeen arkit poistetaan puristimesta ja niiden kaikki imukartongit vaihdetaan uusiin ja käyttämättömiin imukartonkeihin. Tämän jälkeen puristus tehdään uudelleen. /3/

Puristuksen jälkeen arkit kuivataan kuivausrummussa. Arkit asetetaan imukartonki molemmin puolin kuivausrummulle. Kuivausrummun kiristyskangas vedetään rummun yli, jonka jälkeen kuivausrumpu käynnistetään. Arkkeja kuivataan rummussa 80 asteen lämpötilassa neljän tunnin ajan. Kuviossa 2 on kuvattu perinteinen kuivausrumpu. /3/



Kuvio 2. Perinteisellä arkin valmistustavalla käytettävä kuivausrumpu

2.3 Uuden arkin valmistuslaitteiston rakenne

Uusi arkin muodostustapa koostuu vanhasta poiketen vain yhdestä laitteesta, johon kuuluu erillinen arkkimuotti ja alipainekuivain. Arkkimuottiosaan kuuluu sulppusäiliö, viiraosa sekä imujalka. Sulppusäiliö on akryylinen ympyrälieriö. Sen alaosassa on vedensyöttörengas, josta vesi johdetaan säiliöön. /5/

Sulppusäiliöön annostellaan massasulppu, josta muodostuu paperiraina viiralle. Arkin läpi poistuva vesi valuu imujalkaan, josta se myöhemmin poistetaan viemäriin. /5/

Arkkimuotti vaatii toimiakseen 6 – 10 bar vedenpaineen ja 4,5 – 10 bar ilmanpaineen. Arkkimuotin sisään rakennetulla vesiejektoripumpulla tyhjennetään ja täytetään arkkimuotin sulppusäiliö ja huolehditaan sen imusta. Lisäksi arkkimuotilla tehdään alipainekuivaimeen sen tarvitsema alipaine. Kuviossa 3 on esitetty uusi arkin valmistuslaitteisto. /5/



Kuvio 3. Uusi arkin valmistuslaitteisto

2.4 Arkin valmistus uudella laitteistolla

Ennen varsinaista arkin valmistusta tarkistetaan, että vesi- ja paineilmaletkut on kytketty kiinni. Tämän jälkeen voidaan käynnistää pumppu ja kytkeä virta itse laitteistoon.

Veden painetta voidaan myös hienosäätää laitteiston päällä olevasta hanasta. /5/

Itse varsinainen arkkien valmistus aloitetaan kääntämällä valintakytkintä, jolloin sulppusäiliö alkaa täyttyä vedellä. Veden saavuttaessa neljän litran rajan kaadetaan valmiiksi mitattu määrä sulppua säiliöön ja annetaan säiliön täyttyä seitsemän litran rajaan asti. Tämän jälkeen kytkin käännetään seuraavaan asentoon, jolloin alkaa ilmasekoitus. Sulpun annetaan sekoittua noin viisi sekuntia, jonka jälkeen kytkin taas käännetään seuraavaan asentoon ja annetaan sulpun asettua noin viisi sekuntia. Asettumisen jälkeen painetaan laitteiston nappia ”Fall through” ja odotetaan säiliön veden suotautumista viiran läpi. Veden suotauduttua käännetään kytkin seuraavaan

asentoon, jolloin laitteisto aloittaa imun arkin lävitse. Imulla simuloidaan alipainetta. Arkkia imetään noin kymmenen sekuntia. Tämän jälkeen käännetään kytkin seuraavaan asentoon, jolloin alkaa imujalan tyhjennys. /5/

Imujalan tyhjenyttyä avataan arkkimuotin yläosa ja asetetaan huopautuskartonki muodostuneen rainan päälle sileä puoli alaspäin. Huopautuskartongin päällä rullataan huopautustelaa kaksi kertaa ristikkäisiin suuntiin käyttämällä vain sen omaa painoa, joka on huomattavasti kevyempi kuin perinteisen arkin valmistuslaitteiston. Rullauksen jälkeen nostetaan viira irti imujalasta ja kopautetaan sitä kumimattoa vasten, jolloin huopautuskartonki irtoaa paperiraina itseensä kiinnittyneenä kumimatolle. /5/

Kumimatolla paperirainan päälle laitetaan erillinen peitearkki, jonka jälkeen ne siirretään alipainekuivaimeen (kuvio 4). Työssä käytetyssä laitteessa oli yksi kuivausmoduuli, mutta laitteistoa valmistetaan myös useammilla kuivausmoduuleilla. Arkkia kuivataan viisi minuuttia, jonka jälkeen se poistetaan kuivaimesta, samalla irrotetaan kartongit molemmilta puolilta paperia. /5/

Kuivauksen jälkeen valmis arkki siirretään vakioilmastohuoneeseen odottamaan paperiteknisiä mittauksia. Lopuksi pestään vielä laitteiston viiraosa juoksevan veden alla, jonka jälkeen voidaan aloittaa seuraavan arkin valmistus. /5/



Kuvio 4. Uuden valmistuslaitteiston alipainekuivain

3 Massojen ja arkkien valmistus

Arkkien valmistusta varten työhön käytettiin kolmea eri massaa, jotta voitiin havaita, esiintyisikö samoja eroja arkeissa massasta riippumatta. Massoiksi valittiin M-Realilta hankitut koivu- ja mäntysellu sekä kemikuumahierre (CTMP). Työn aikana havaittiin koivuselluarkista otetussa näytteessä myös mäntykuituja, joten aivan puhdasta koivusellu ei ollut. Kuviossa 4 on havaittu männyn solu koivusellussa. /1/



Kuvio 4. Männynsolu epäpuhtaassa koivusellussa

3.1 Massan kuiva-aineen määrittäminen

Ennen varsinaista massan valmistusta oli tiedettävä jauhattavien massojen tarkat kuiva-ainepitoisuudet. Kuiva-ainepitoisuus on määritettävä, jotta jokaiseen jauhattavaan massaerään tulee sama määrä absoluuttisesti kuivaa massaa. Sitä varten selluarkeista ja mekaanista massasta revittiin pienet palat, joista testattiin Mettler-Toledo-kosteusanalysaattorilla aineen kuiva-ainepitoisuus. Kuiva-ainepitoisuuden mukaan laskettiin jokaiseen massaerään 360 g absoluuttisesti kuivaa massaa. /3/

3.2 Massan jauhatus

Ennen massan jauhatusta punnittu massa liotettiin vedessä neljä tuntia siten, että veden ja absoluuttisesti kuivan massan yhteistilavuus oli viisi litraa. Tämän jälkeen massan käsittelyä jatkettiin laboratoriossa olevalla Valley-hollanterilla. Kuviossa 5 on Lorentzen & Wettren Valley-hollanteri. /3/



Kuvio 5. Lorentzen & Wettre Valley-hollanteri.

Aluksi massa kaadettiin hollanteriin, jossa se vielä laimennettiin siten, että massan kokonaistilavuudeksi tuli 23 litraa ja massan sakeudeksi 15,7 g/l. Tämän jälkeen aloitettiin hajotusprosessi jauhimella. Massaa kierrätettiin jauhimessa ilman jauhatuspainoa 30 minuuttia, jonka aikana massa hajoaa yksittäisiksi kuiduiksi. Hajotus poikkeaa jauhamisesta siten, että massan kiertäessä jauhimessa jauhimen alaterä ei paina vasten terätukkia jauhatuspainon puuttumisen vuoksi. /3/

Hajotusprosessin jälkeen hollanteriin lisättiin jauhatuspainot, jonka jälkeen aloitettiin massan jauhatus. Jauhatusta varten oli suunniteltu halutut jauhatusajat eri massoille, jotta saataisiin myös arkkeihin myös jauhatuksesta johtuvia eroja. Kemiallisista massoista valmistettiin kolme jauhatusta kummastakin massalajista ja mekaanisesta kaksi jauhatusta. Inhimillisen erehdyksen vuoksi koivusellun kolmas jauhatus oli 60 minuuttia, ja sillä massalla tehdyistä mittauksista on osa jätetty pois epäkelpoisuuden vuoksi. Taulukossa 1 on esitetty massojen jauhatusajat. Massan jauhatuksessa käytettiin standardia SCAN-C 25:76. /3/

Taulukko 1: Massojen jauhatusaajat

Massalaji	1. Jauhatusaika	2. Jauhatusaika	3. Jauhatusaika
Mäntysellu	20 min	40 min	60 min
Koivusellu	15 min	30 min	60 min
CTMP	30 min	45 min	

3.3 Massojen SR- ja CSF- luvut

Jauhatuksen jälkeen massoista laimennettiin otokset SR- ja CSF-lukujen määrittämistä varten. SR-lukua mitattaessa massasulppu laimennettiin sakeuteen 2 g/l ja vastaavasti CSF-lukua mitattaessa sakeuteen 3 g/l. Taulukossa 2 on esitetty massojen SR- ja CSF-luvut. /3/

Taulukko 2. Massojen SR- ja CSF-luvut

Massalaji	Jauhatusaika	SR- luku	CSF- luku, ml
Mäntysellu	20 min	16	660
Mäntysellu	40 min	18	640
Mäntysellu	60 min	19	560
Koivusellu	15 min	20	510
Koivusellu	30 min	28	350
Koivusellu	60 min	59	230
CTMP	30 min	39	310
CTMP	45 min	50	250

3.3.1 Massan Canadian Standard Freeness -luku (CSF-luku)

Massan CSF-luku on suhteellinen luku, joka kuvaa massan suotautumisnopeutta. Sitä käytetään pääasiassa tutkittaessa mekaanisia massoja. CSF-luvusta tulee sitä pienempi, mitä hienompaa massa on ja mitä nopeammin suotautuminen hidastuu. Suotautumisen hidastumisen saa aikaan siivilälevylle muodostuva kuitukakku, jonka läpi suotautuminen vaikeutuu. Luvun pieneneminen kertoo massan suotautumisnopeuden hidastumisesta. /3/

Massan CSF-lukua tutkittiin standardin SCAN-C 21:65 mukaan. Mittaukseen käytettiin Lorentzen & Wettren valmistamaa Canadian freeness -laitetta. Kuviossa 6 on kuvattu CSF-laite. /3/

3.3.2 Massan Schopper-Riegler-luku (SR-luku)

CSF-luvun tavoin myös massan Schopper-Riegler-luku ilmoittaa massan suotautumisnopeuden. Schopper-Riegler-lukua käytetään pääasiassa kemiallisten massojen suotautumisnopeutta tarkasteltaessa. Massan SR-luvusta tulee sitä suurempi, mitä nopeammin massan suotautumisnopeus hidastuu muodostuvan kuitukakun vaikutuksesta. /3/

Massan SR-luku määritettiin standardin SCAN-C 19:65 mukaan ja arvo mitattiin Lorentzen & Wettren Schopper-Riegler laitteella (kuvio 6). /3/



Kuvio 6. Lorentzen & Wettre Canadian Standard Freeness ja Schopper-Riegler-laitteet

3.4 Arkkien valmistus

Arkkien tavoiteneliömassaksi asetettiin 60 g/m^2 , siksi arkkien valmistusta varten tarvittiin vanhalla arkkimuotilla $0,8 \text{ l}$ sulppua. Arkkimuottien erikokoisten pohjapinta-alojen vuoksi uudelle arkkimuotille määritettiin muotin tarvitsema sulppumäärä, jotta uudellakin arkkimuotilla valmistettujen arkkien neliömassa olisi 60 g/m^2 . Uuden arkkimuotin tarvitsemaksi määräksi sulppua määritettiin $0,98 \text{ litraksi}$. Tämän jälkeen voitiin aloittaa arkkien valmistus, joita valmistettiin 40 kappaletta molemmilla arkkimuoteilla jokaisesta massasta. /3/

4 Mittausmenetelmät ja tulokset

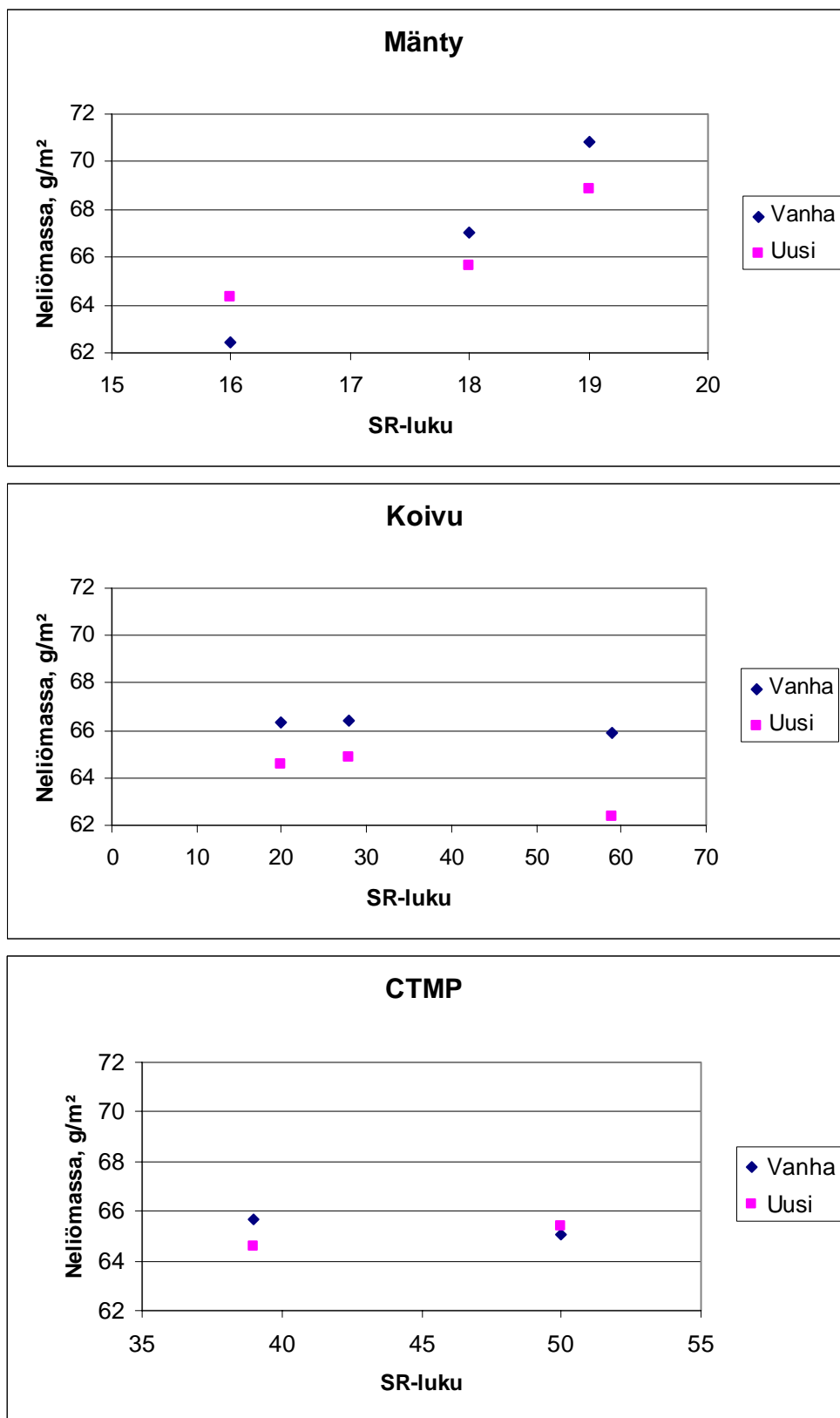
Valmistetuista arkeista mitattiin erilaisia paperitekniisiä mittauksia, joiden avulla voitiin analysoida arkin valmistuslaitteistojen eroja. Kaikista arkeista mitattiin niiden perus-, lujuus-, pinta- ja optisia ominaisuuksia.

4.1 Neliömassa

Paperin neliömassa tarkoittaa paperin massaa grammoina laskettuna neliömetriä kohti. Paperikoneella neliömassan mittaus suoritetaan on-line-mittauksena, joka perustuu beta-säteilyn absorptioon. Neliömassa voidaan myös määrittää leikkaamalla paperista tietyn kokoinen pala, jonka jälkeen se punnitaan. Punnituksen jälkeen laskemalla saadaan paperin neliömassa. /2/

Tässä työssä valmistetuista arkeista leikattiin 140 x 140 mm ja 150 x 150 mm kokoisia paloja, joista määritettiin paperilajien neliömassat. Määrittämisessä käytettiin standardia SCAN-P 6:75.

Mitatut tulokset arkkien neliömassasta olivat hieman tavoiteltua 60 g/m² korkeampia (kuvio 7). Tuloksista voidaan todeta arkkien neliömassan vaihtelun olevan noin 9 g/m²:n sisällä. Tämän voidaan olettaa johtuvan inhimillisistä mittausvirheistä massojen ja arkin valmistuksen aikana, sillä kaikki laimennukset tehtiin käyttämällä erilaisia mitta-astioita, joissa mitattavan aineen määrä katsottiin silmämääräisesti astian asteikosta. Siksi arkkien neliömassaerot eivät ole riippuvaisia arkin valmistustavasta, vaan enemmänkin epätarkkuudesta arkkien valmistuksessa. Tässä työssä valmistetut arkit katsottiin pienistä neliömassaeroista riippumatta vertailukelpoisiksi.



Kuvio 7. Massojen neliömassat esitettynä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla tehtyinä.

4.2 Paksuus, tiheys ja bulkki

Paksuuden mittaamiseen käytettiin Wennberg Apparater AB:n mittauslaitetta. Paksuus mitattiin pinopaksuutena, jolloin neljästä kymmenen arkin pinosta kustakin mitattiin viisi arvoa. Mittaus suoritettiin standardin ISO 534:2005 mukaan.

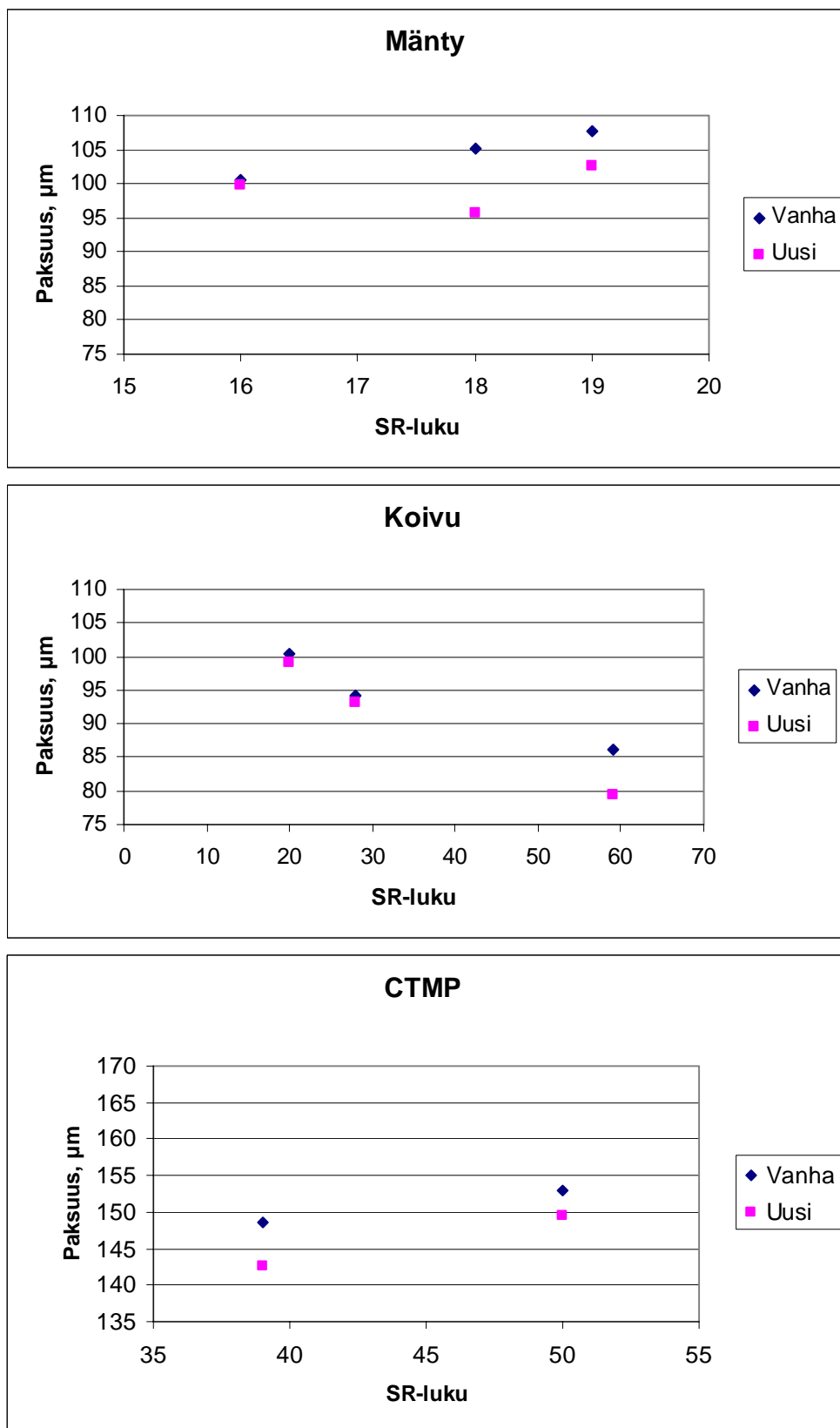
Tiheys määritettiin laskemalla. Tiheyden selvittämiseen tarvittiin ainoastaan tiedot arkkien neliömassasta ja paksuudesta, koska tiheys on neliömassan ja paksuuden osamäärä kerrottuna tuhannella. /2/

Bulkki on tiheyden käänteisluku, jonka yksikkö on g/cm^3 . Korkea bulkki eli matala tiheys on yleensä toivottava ominaisuus paperin valmistuksessa, mikäli muut kriittiset ominaisuudet eivät kärsi siitä. /2/

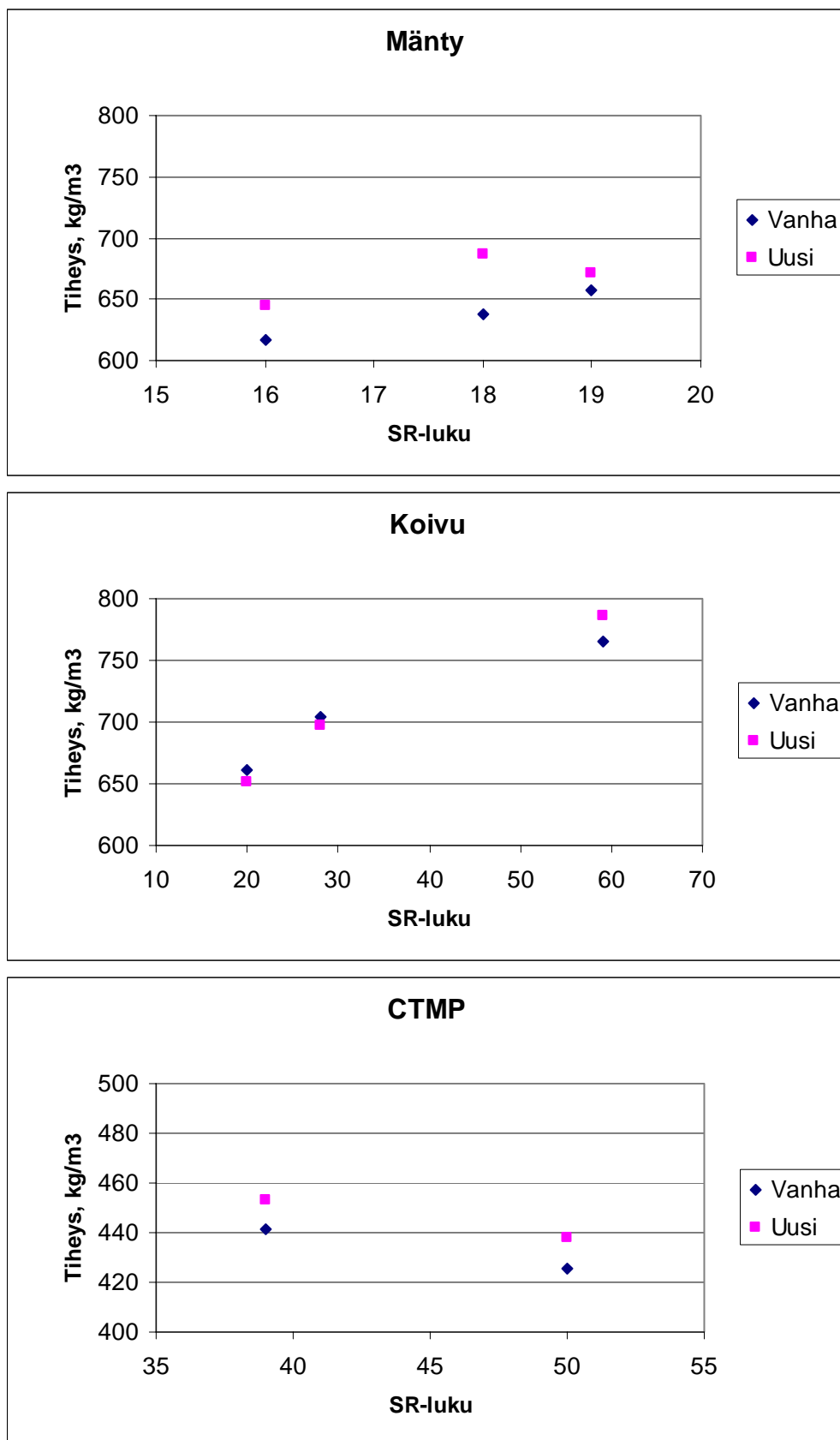
Arkkien mittauksista on havaittavissa jauhatuksen lisäämisen vaikutus arkin paksuuteen. Kuviossa 8 voi havaita erinomaisesti koivuarkkien paksuuden pientymisen SR-luvun kasvaessa. Jauhatusajan pidentyessä massan hienoinemäärän kasvu aiheuttaa tiheyden nousun ja bulkin laskemisen (kuvio 9 ja 10). Näin papereista on tullut ohuempia. Arkin paksuuteen vaikuttaa myös neliömassa, joka havaitaan tarkastelemalla mäntyarkkien paksuutta. Arkkien paksuus kasvaa kuituraaka-aineen määrämuutoksen vuoksi. Männyllä pieni SR-luvun muutos ei ole aiheuttanut merkittävästi arkkien tiheyden kasvua, mutta neliömassan kasvu on kasvattanut arkkien paksuutta. /2,6/

Eri arkin valmistustapojen erojen selvittäminen paksuuden osalta on tässä tapauksessa vaikeaa, koska luonnollisesti arkkien erot kuitumäärän suhteen vaikuttavat suuresti arkin paksuuteen. Tämän vuoksi myös tulokset vaihtelivat eri massojen välillä. Mittaustuloksissa on havaittu pieniä eroja, mutta tulosten pohjalta ei voida määrittää arkkimuotista johtuvia eroja arkkien paksuudessa. /6/

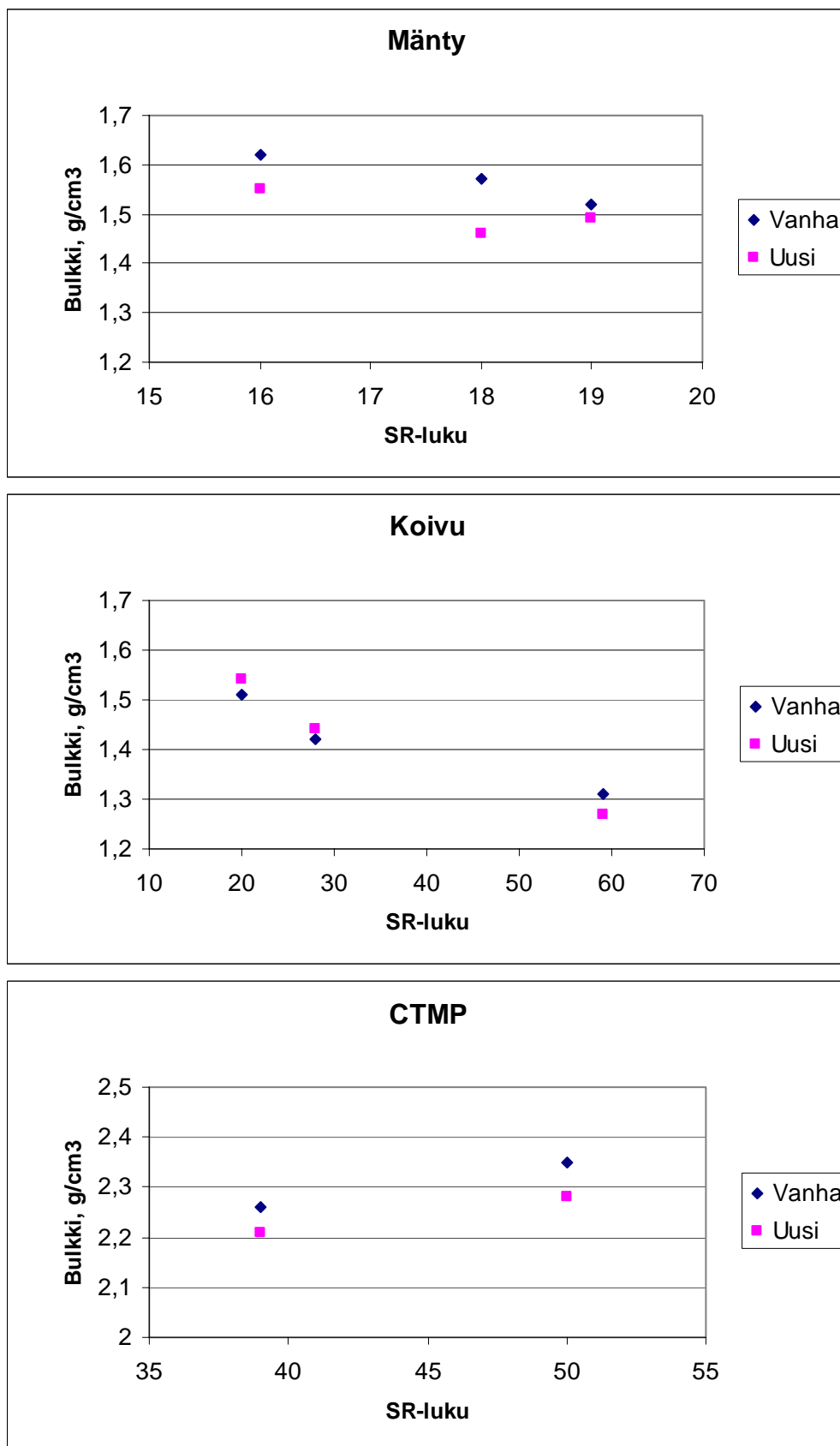
Sen sijaan tiheydessä näyttäisi uusi arkkimuotti antavan hieman korkeampia arvoja lukuunottamatta koivusellua, jolla molempien arkkimuottien arkit olivat samoja tiheyksiltään.



Kuvio 8. Massojen paksuudet esitettynä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla tehtyinä.



Kuvio 9. Massojen tiheydet esitettynä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla tehtyinä.



Kuvio 10. Massojen bulkit esitettynä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla tehtyinä.

4.3 Karheus ja ilman läpäisy

Paperin pintarakennetta tarkasteltaessa tutkitaan yleisimmin pinnan karheutta. Karheutta voidaan mitata mikro- tai makrokarheutena, jotka kuvaavat pinnan karheutta eri mittakaavoissa. Yleisimmät mittausmenetelmät mittaavat tasaisen metallipinnan ja paperin pinnan välistä virtaavan ilman nopeutta tietyllä puristuspaineella ja ilman paineerolla tai tietyn ilmamäärän virtaamiseen kulunutta aikaa. /2/

Työssä mitattiin pinnan karheutta Bendtsen-menetelmällä. Mittausstandardina käytettiin ISO 8791-2-1990 -standardia ja mittauslaitteena toimi Lorentzen & Wettren Bendtsen Tester -laite. Kuviossa 11 on kuvattu pinnan karheuden mittaamiseen käytetty laite.



Kuvio 11. Lorentzen & Wettre Bendtsen Tester

Eri arkkimuoteilla tehtyjen arkki-erien ominaisuuksien eroista selkeimmin erottui karheus (kuvio 12 ja 13). Toki silmämääräisestikin oli havaittavissa eri arkkimuottien aiheuttamat erot pinnan karheudessa. Mitatuista tuloksista on nähtävissä huomattavasti matalammat arvot uudella arkkimuotilla tehdyistä arkeista. Uudella arkkimuotilla tehdyt arkit olivat kaikki selvästi sileämpiä riippumatta arkin jauhatusajasta tai massasta.

Perinteisellä arkkimuotilla tehdyissä sellu- ja CTMP-arkeissa mitattiin neljä kertaa korkeampia karheuden tuloksia kuin uudella arkin valmistuslaitteistolla tehdyistä arkeista.

Arkkimuottien eroja karheudessa voidaan selittää monella tavalla. Rainan muodostuminen tapahtuu arkkimuoteilla hyvin samalla tavalla, joten erot voitaneen selittää erityyillisellä puristuksella ja kuivauksella. Alipainekuivaimessa käytettävien huopautus- ja peitekartonkien paperiin osuvien pintojen sileys on huomattavasti parempi kuin vanhassa arkin valmistustavassa käytettävien imukartonkien. Puristusvaiheessa vanhalla arkin valmistustavalla imukartongin epätasainen pinta vaikuttaa negatiivisesti paperin pinnankarheuteen. Uudella arkkimuotilla päästään vielä sileämpiin tuloksiin, jos puristuksessa ja kuivauksessa ei käytetä siihen tarkoitettua peitearkkia, vaan paperin viirapuoli on kuivaimen teflonpintaa vasten. Tätä tehdään käytännössä, vaikka virallinen ohje ohjeistaa peitearkkien käytön.

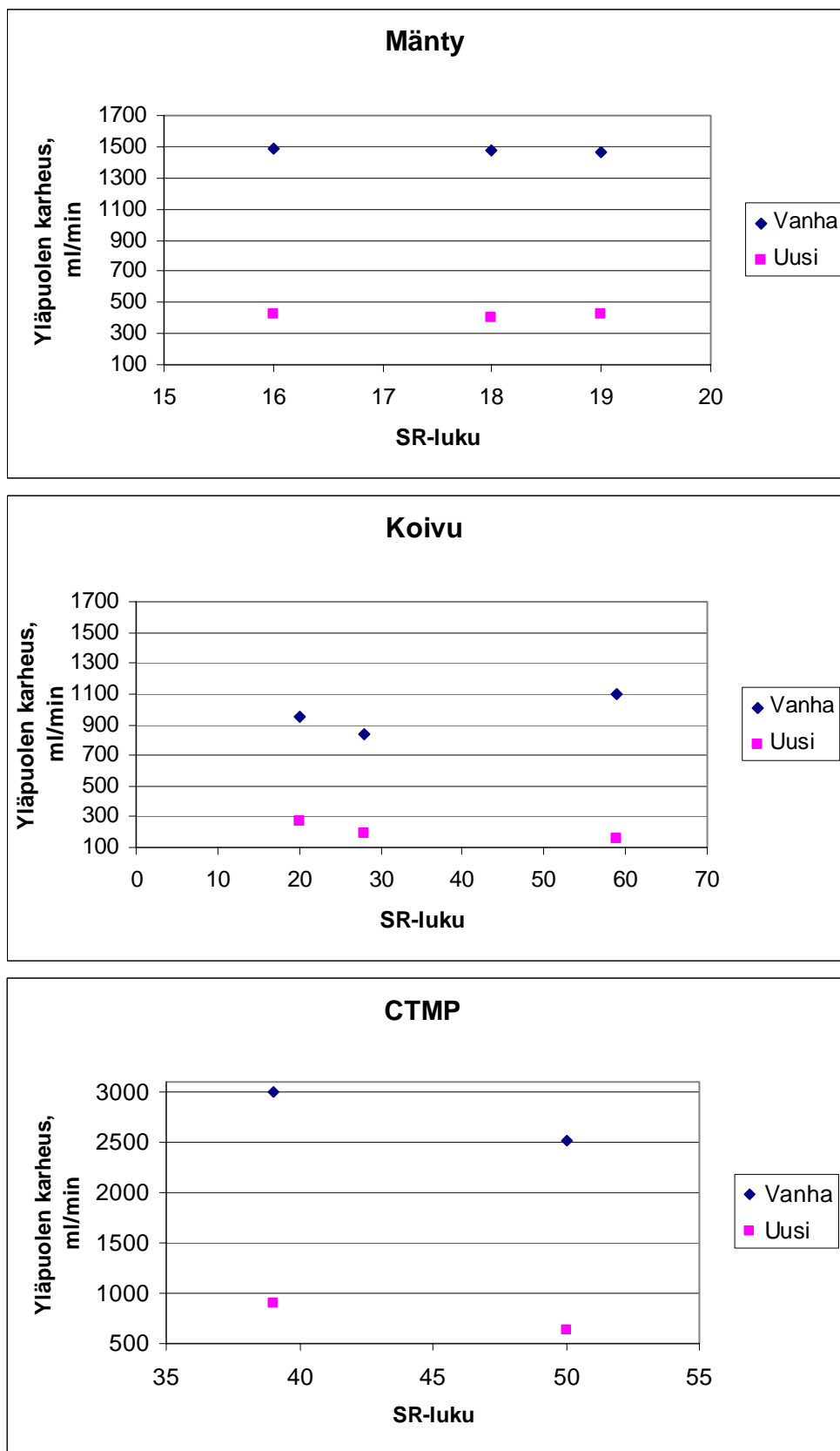
Ilmanläpäisevyys on yleinen suure paperin ominaisuuksia tutkittaessa. Paperin rakenne koostuu kuitumateriaaleista, jotka muodostavat sidosten avulla kuituverkon. Kuitujen väliin jäävää vapaata tilaa kutsutaan huokosverkostoksi, jonka koko ja tilavuus vaihtelee huomattavasti paperilajista riippuen. Huokosilla on suuri merkitys etenkin nesteiden ja kaasujen virtauksille paperissa, siksi ilmanläpäisevyyttä voi erityisesti hyväksikäyttää arvioitaessa nesteen tunkeutumista paperiin painatusprosessin aikana. Tämän takia pieni ilmanläpäisy onkin tärkeä ominaisuus syväpainossa SC-paperilla. /2,6/

Yleisimmät ilmanläpäisyn mittaamenetelmät ovat Bendtsen ja Gurley /2/. Tässä työssä käytettiin Bendtsen menetelmää, jolloin mitataan paperin läpi menevä ilmavirtaus tietyllä mittapäällä 1,47 kPa:n paine-erolla. Mittauksessa käytettiin Messmer Büchel -ilmanläpäisylaitetta ja standardia 5636-3:1992.

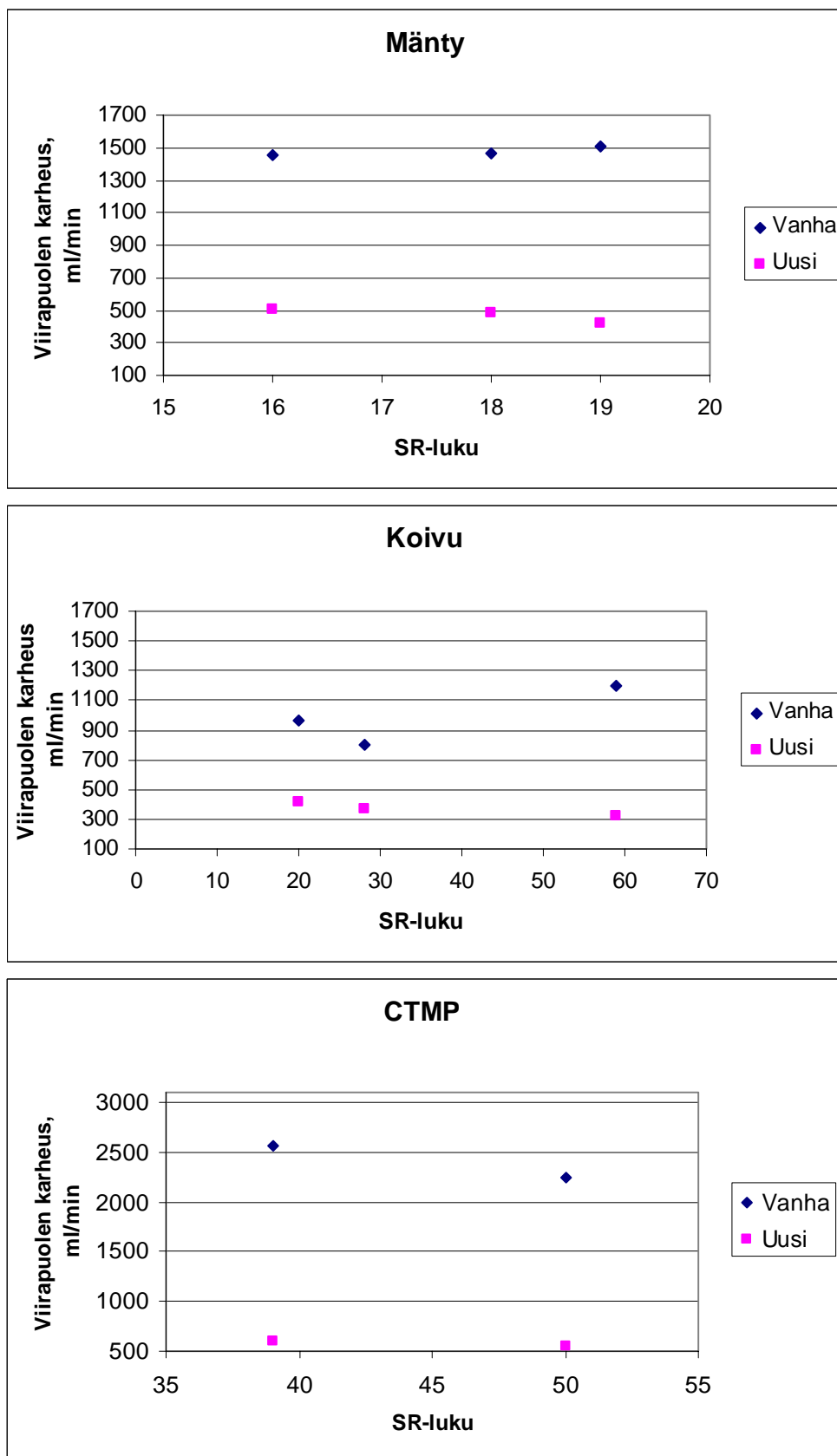
Arkkien ilmanläpäisevyyden muutokset oli helppo havaita mittausten perusteella. Kuvioissa 14 ja 15 on havaittavissa ilmanläpäisevyyden pieneneminen arkin molemmilla puolilla jauhatusajan funktiona. Muutos tapahtui kaikilla massoilla jauhatusajan kasvaessa, koska silloin kuitujen väliset ilmatilat vähenevät ja siten huokoisuus pienenee.

Kemiallisilla massoilla ilmanläpäisyssä mitatut tulokset olivat kaikki pienempiä perinteisellä arkkimuotilla valmistetuissa arkeissa. Uudella arkkimuotilla valmistetuista arkeista mitatut tulokset olivat massasta riippuen 13 % - 148 % korkeampia kuin perinteisellä arkkimuotilla valmistetut. Arkkien eri pulien ilmanläpäisyssä ei havaittu merkittäviä eroja. Mittauksissa koivusellun kolmannen jauhatustasteen tuloksia ei ole huomioitu liian kauan jauhetun massan vuoksi. Mekaanisella massalla mitatut erot olivat pienempiä. Ensimmäisessä jauhatustasteessa mitattujen arkkien molempien puolien ilmanläpäisyn keskiarvo oli 22 % korkeampi uudella arkkimuotilla. Toisessa mekaanisen massan jauhatuksessa ei saatu arkkimuoteille ratkaisevaa eroa. Viirapuolelle tehdyissä mittauksissa saatiin perinteisen arkkimuotin pinta huokoisemmaksi ja uudella arkin yläpuoli. /6/

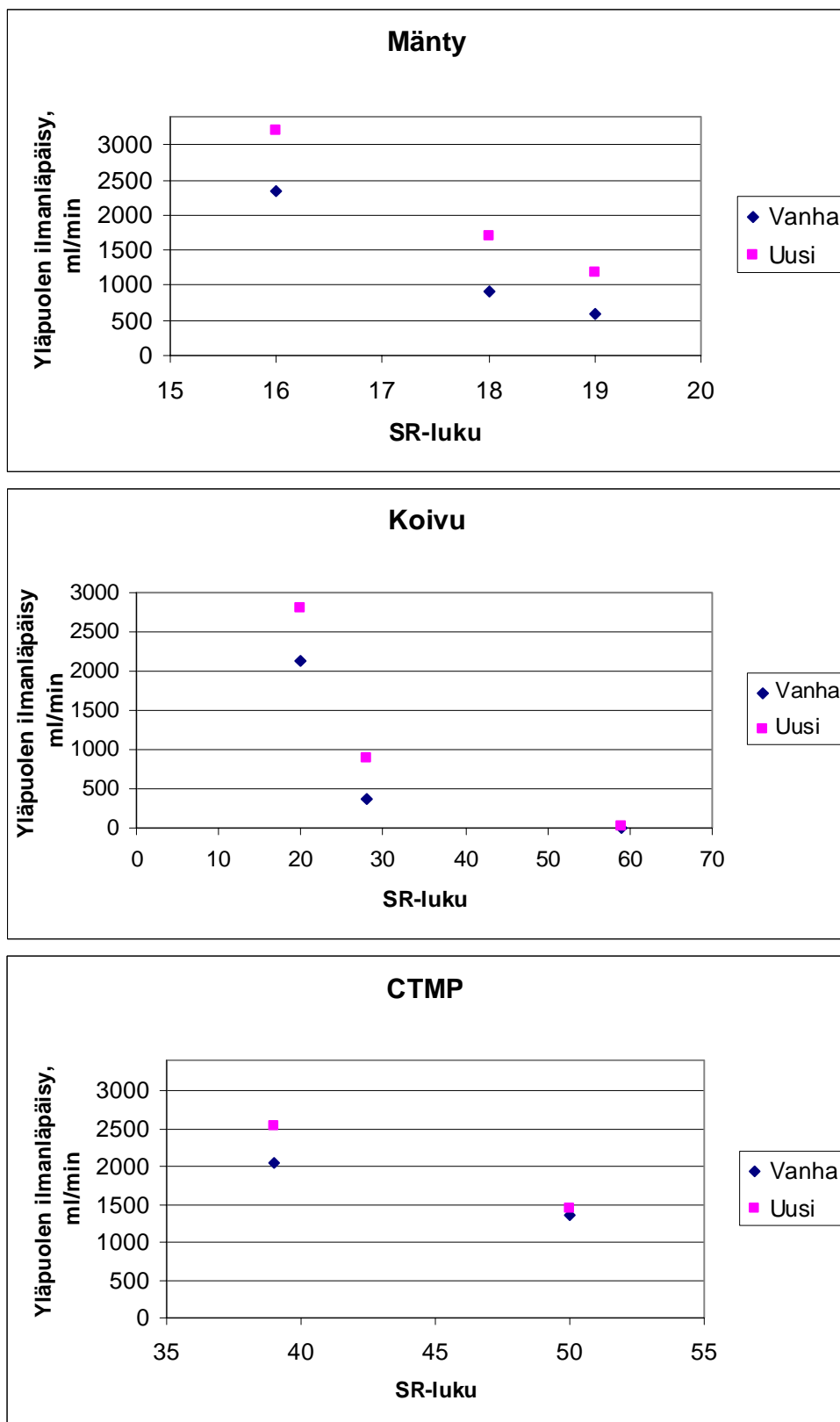
Erot ilmanläpäisevyydessä johtuvat ilmeisesti vanhan arkin valmistustavan erilaisesta puristusmenetelmästä, joten uuden valmistuslaitteiston alipainekuivain tekee arkista huokoisemman. Lisäksi perinteisen arkin valmistustavan märkäpuristus kestää kolme minuuttia kauemmin, jolloin syntyy kuituja yhdistäviä sidoksia ja samanaikaisesti paperin läpi menevien suurten huokosten määrä pienenee. /2/



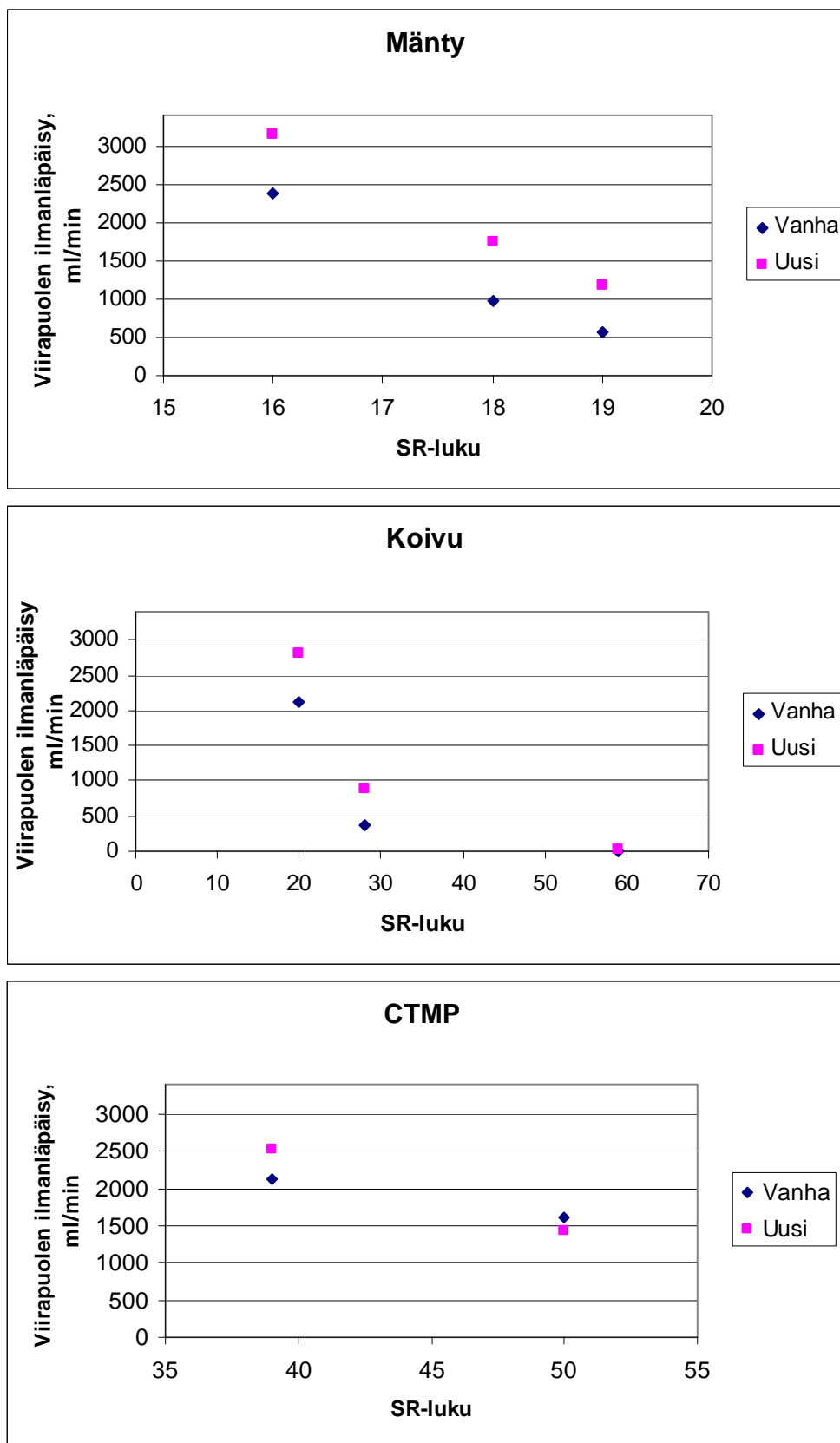
Kuvio 12. Eri massoilla tehtyjen arkkien yläpuolen Bendtsen-karheus esitettyinä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla.



Kuvio 13. Eri massoilla tehtyjen arkki- viirapuolen Bendtsen-karheus esitettyä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla.



Kuvio 14. Eri massoilla tehtyjen arkkien yläpuolen Bendtsen-ilmanläpäisevyys esitettynä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla.



Kuvio 15. Eri massoilla tehtyjen arkkien viirapuolen Bendtsen-ilmanläpäisevyys esitettynä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla.

4.4 Opasiteetti, vaaleus, valon sironta ja -absorptio

Mekaanisten ominaisuuksien ohella paperin ominaisuuksissa kiinnitetään paljon huomiota myös paperin optisiin ominaisuuksiin. Niillä määritetään paperin ulkonäkö, ja tutkimalla niitä voidaan selvittää paperin ja siihen kohdistetun valon vuorovaikutus. Lisäksi optisten ominaisuuksien tulisi olla paperissa tasaista ja niiden pitäisi soveltua paperin käyttötarkoituksiin. Esimerkiksi paperin opasiteetin täytyy olla kirjoituspapereissa riittävän suuri, jotta painatus ei näkyisi paperin toiselle puolelle ja näin vaikeuttaisi tekstin lukemista. Paperin optisista ominaisuuksista työn kannalta tärkeimmiksi todettiin paperin opasiteetti, vaaleus, valon sironta ja -absorptio. /2,6/

Opasiteetilla tarkoitetaan paperin läpinäkyvyyttä. Paperin opasiteetti ilmoitetaan prosentteina: mitä korkeampi mittausarvo on, sitä vähemmän paperin läpi voi nähdä. Vaaleudella tarkoitetaan paperin kykyä heijastaa valoa tietyissä olosuhteissa. Suurella paperin vaaleudella saavutetaan korkea painetun pinnan densiteetti, jolloin sävyjen erot korostuvat. /2,6/

Valonsirontakerroin mittaa paperin kyvyn heijastaa valoa takaisin neliömassayksikköä kohden. Periaatteessa se siis kuvaa paperin sisäistä valoa sirottavaa pinta-alaa massayksikköä kohden. /2/

Valon absorptiokertoimella tarkoitetaan aineen kykyä absorboida valoa neliömassayksikköä kohden. Käytännössä absorptiokerroin siis kuvaa paperin sisäistä valoa absorboivaa pinta-alaa massayksikköä kohden. /2/

Mittauksiin käytettiin Minolta-laitetta ja ne tehtiin standardien SCAN-P 43:85 ja ISO 2471:2005 mukaan.

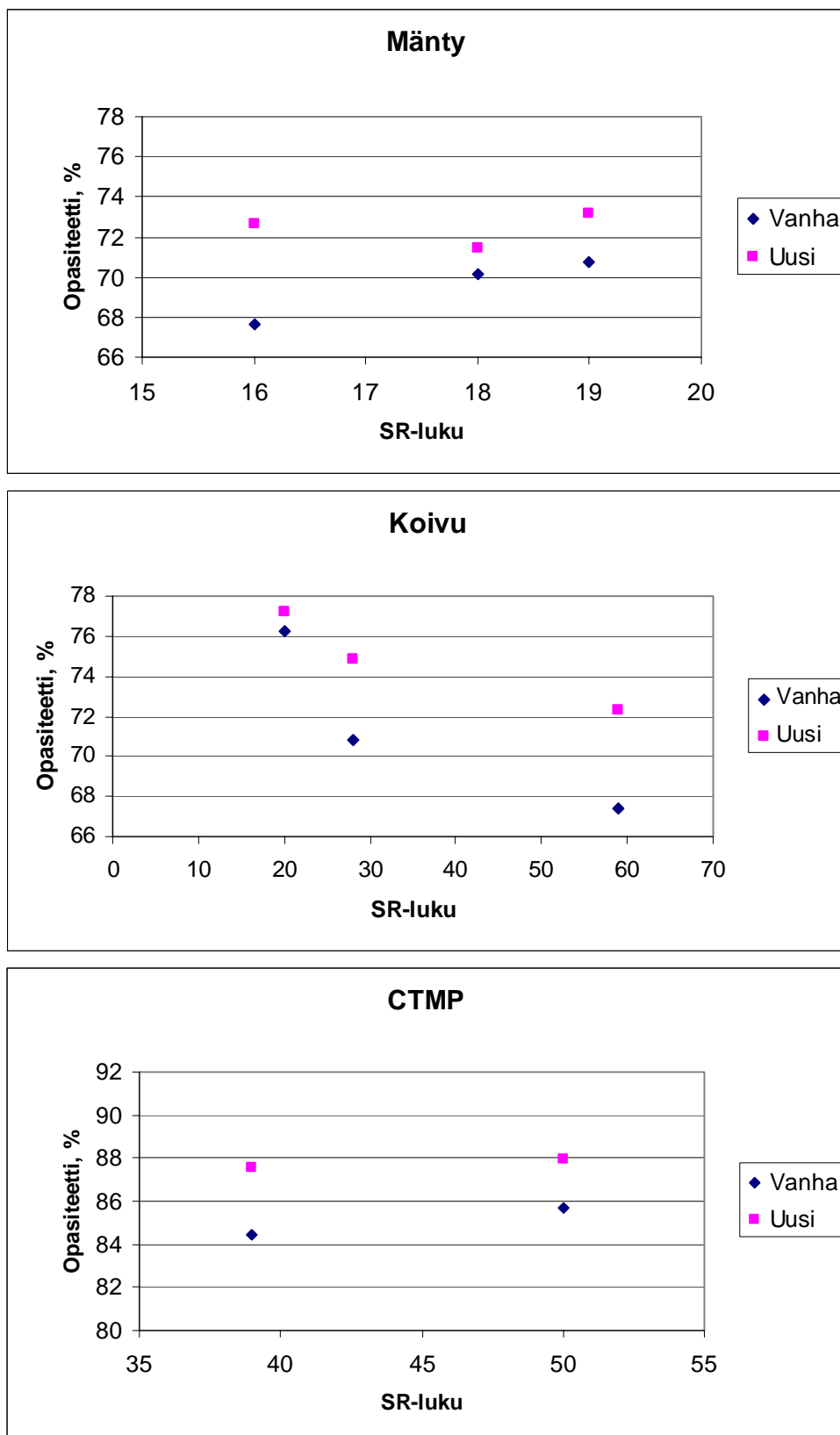
Arkkin optisia ominaisuuksia tutkittaessa havaittiin pieniä eroja eri arkin valmistustapojen välillä. Paperin opasiteetti, vaaleus ja valonsironta laskivat massan jauhatusajan kasvaessa kemiallisilla massoilla ja vastaavasti kasvoivat mekaanisella massalla tehdyillä arkeilla. Työssä valmistettujen arkkin opasiteettiin vaikuttivat massankoostumus, neliömassa ja arkin valmistuslaitteisto. Massan ja neliömassan ollessa molemmilla arkkimuoteilla sama, todettiin uuden arkkimuotin nostavan paperin

opasiteettia. Erot arkkimuottien opasiteetissa vaihtelivat 1 - 5 prosenttiyksikön välillä (kuvio 16). /2,6/

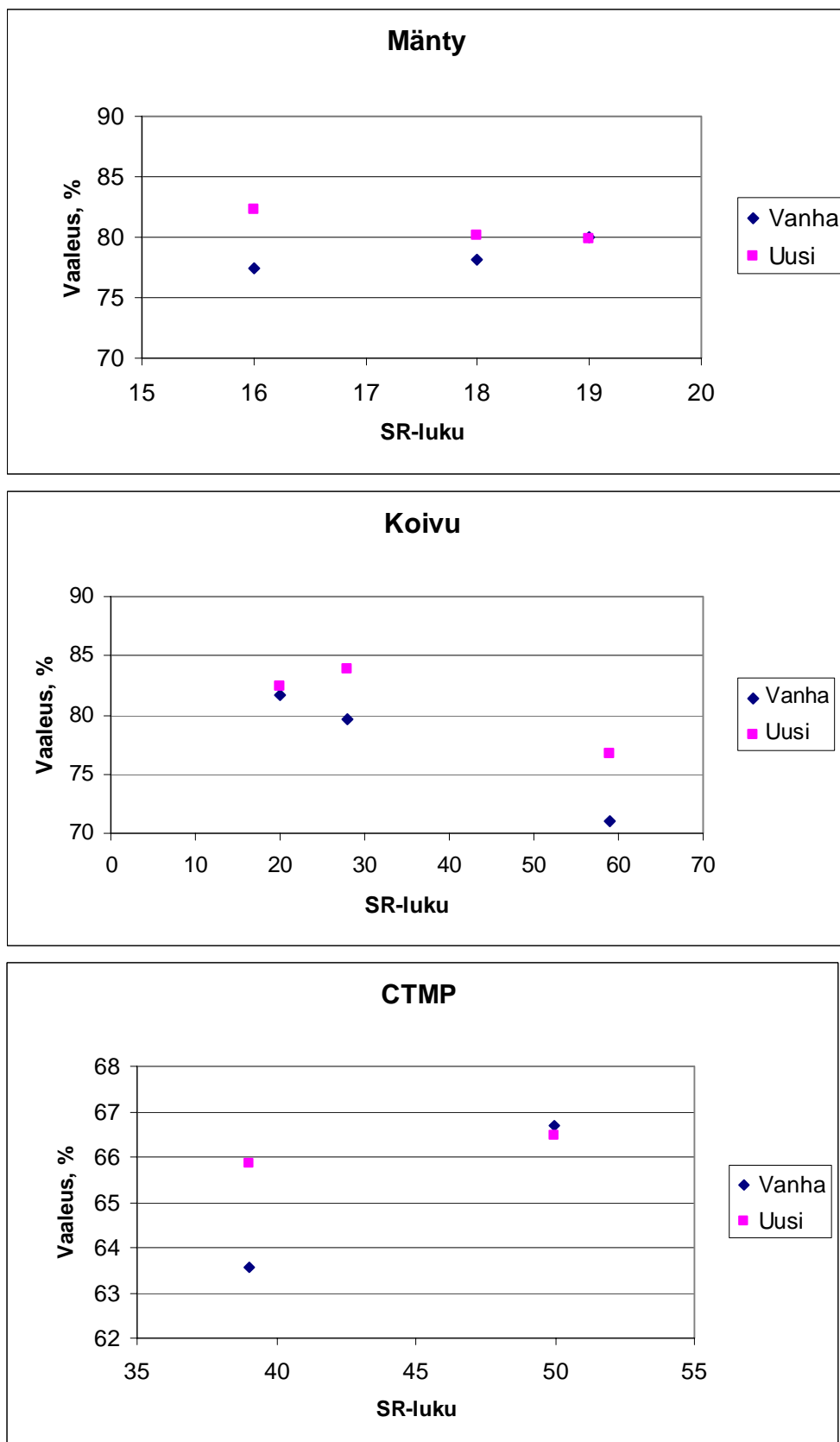
Arkkien vaaleus ja valon sirontakerroin pienenevät jauhatusajan kasvaessa, koska silloin jauhatuksen seurauksena kuitujen välisten sidosten määrä kasvaa ja siksi valon sirontakerroin pienenee. Tästä seuraa myös vaaleuden pieneminen, koska paperi kyky heijastaa valoa takaisin pienenee. Uudella arkkimuotilla valmistetuista arkeista mitattiin korkeampia tuloksia vaaleudessa. Kemiallisilla massoilla arkkimuottien välillä vaaleuserot vaihtelivat alle prosentin erosta viiteen prosenttiin ja valon siroonnassa kahdesta yhdeksään prosenttiin.

Mekaanisella massalla lujuusominaisuudet eivät kasva yhtä voimakkaasti kuin kemiallisilla massoilla freeness-arvoa pudottamalla. Siksi niiden valoa sirottavaa rajapinta kasvaa, koska kaikki sen hienoaineen partikkelit eivät sitoudu. Tämän seurauksena myös arkkien vaaleus ja valon sironta kasvoivat jauhatusajan kasvaessa. Eri arkkimuoteilla valmistettujen arkkien erot johtuvat erilaisesta puristuksesta. Perinteisellä arkkimuotilla tapahtuu kovempi puristus, joka edistää kuitujen välisien kosketuskohtien syntymistä ja kuitujen litistymistä ja näin pienentää arkin valon sirontaa. /2,6/

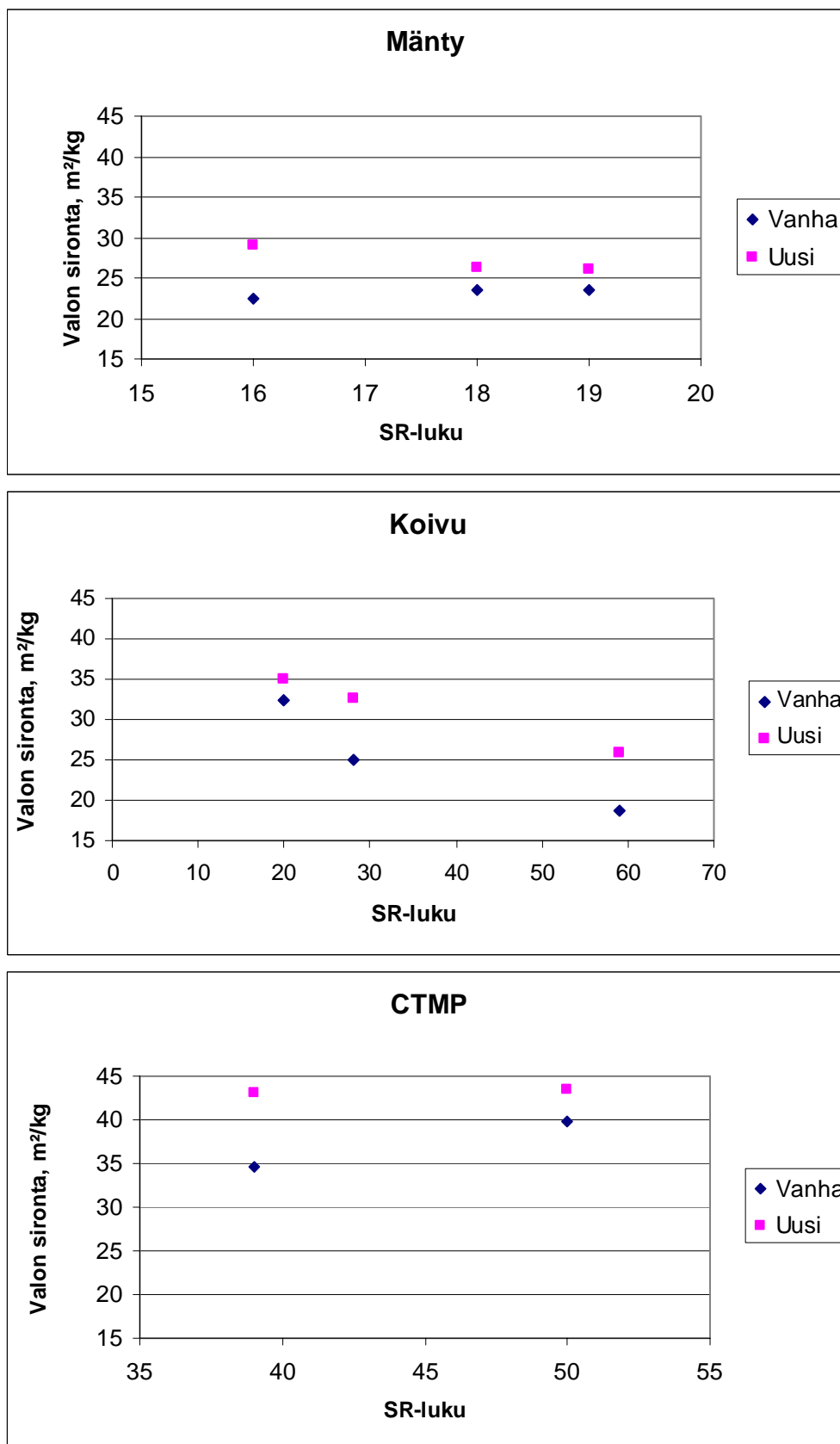
Optiset ominaisuudet olivat lähes poikkeuksetta parempia uudella arkkimuotilla. Muut optisten ominaisuuksien mittaustulokset on esitetty kuvioissa 17,18 ja 19.



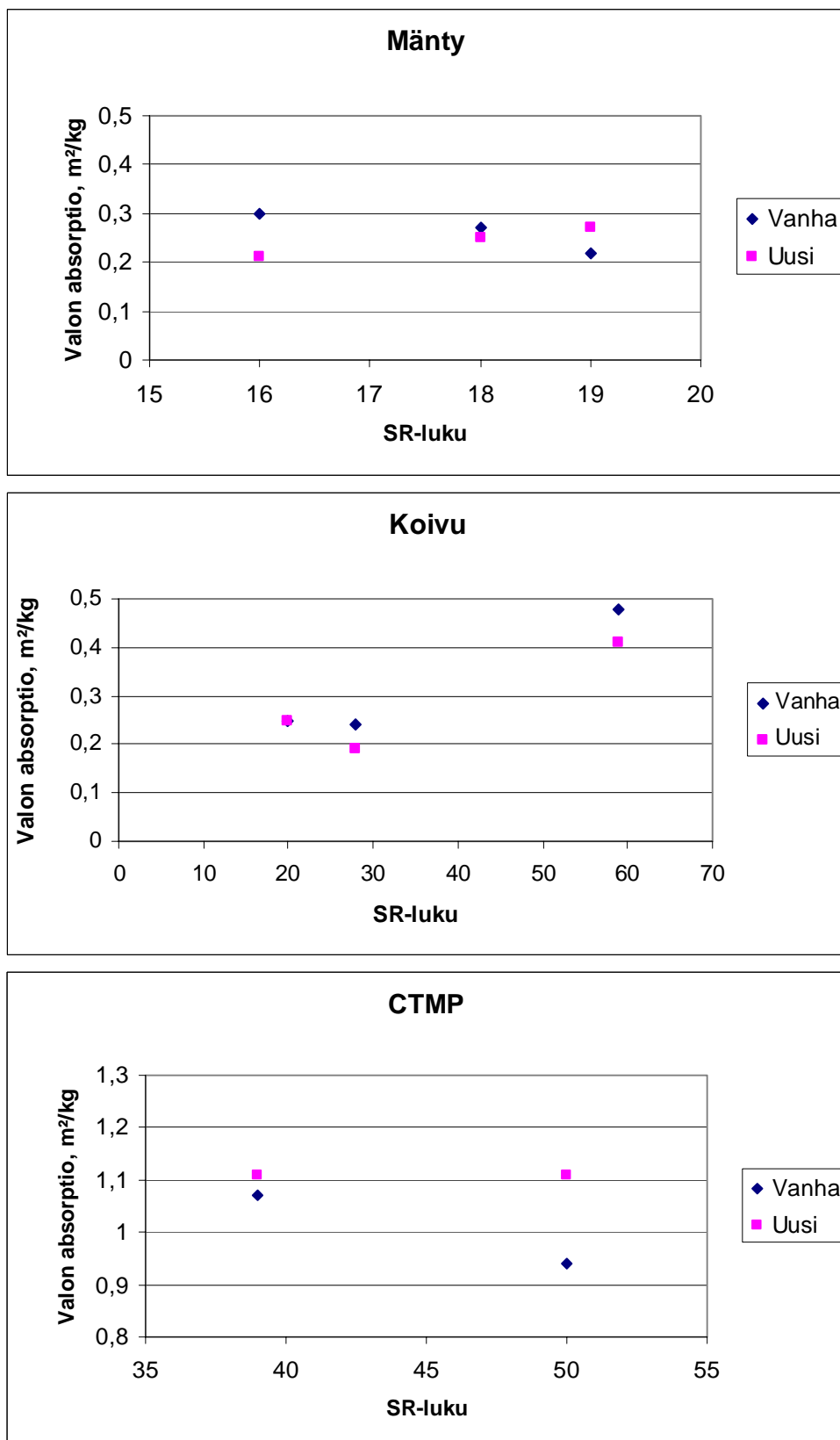
Kuvio 16. Eri massoilla tehtyjen arkkien opasiteetti esitettynä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla.



Kuvio 17. Eri massoilla tehtyjen arkkien ISO-vaaleus esitettynä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla.



Kuvio 18. Eri massoilla tehtyjen arkkien valon sironta esitettynä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla.



Kuvio 19. Eri massoilla tehtyjen arkkien valon absorptio esitettynä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla.

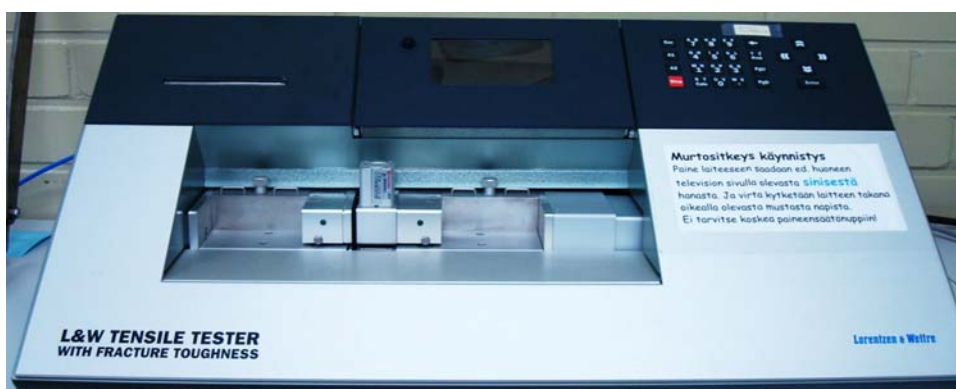
4.5 Vetolujuus-, murtositkeys- ja vetojäykkyysindeksi

Vetolujuus, murtositkeys ja vetojäykkyys ovat tyypillisiä paperista mitattavia lujuuksuureita. Vetolujuus tarkoittaa paperin suurinta kuormitusta, jonka se pystyy kestämaan murtumatta vedettäessä pinnan suuntaisesti. Neliömassojen kasvaessa myös paperin vetolujuus kasvaa ja tämän vuoksi mitattaessa massan vetolujuutta käytetään ns. indeksejä. Tällöin neliömassasta riippuva lukema jaetaan arkin neliömassalla. Näin saadaan neliömassasta riippumaton tulos. /2,6/

Paperilta vaaditaan riittävää yleistä lujuustasoa, ja sitä voidaan kuvata vetolujuudella. Esimerkiksi pakkauksissa pakkausmateriaalilla on oltava riittävä vetolujuus, jotta se suojaisi pakattua tuotetta. Paras vetolujuus saadaan lujilla, pitkillä ja hyvät sitoutumisominaisuudet omaavilla kuiduilla, koska yksittäisen kuidun lujuus määrittää vetolujuuden maksimitason. Pitkään kuituun mahtuu suurempi määrä sidoksia, mikä lisää kuituverkoston sitoutumista ja kasvattaa sen lujuutta. /2,6/

Paperin murtositkeydellä tarkoitetaan murtuman kasvattamiseksi tarvittavan työmäärän lisäystä pituuden muutosta kohti. Murtositkeyttä varten laite tekee testikappaleeseen alkuleikkauksen. Myös murtositkeyttä tutkittaessa käytetään indeksimuotoa. Tämä suure korreloi paremmin erilaisissa jalostusvaiheissa dynaamisten rasitusten kanssa kuin muut lujuusominaisuudet. Vetojäykkyydellä tarkoitetaan paperin vastusta vetorasitukseen/4,6/

Veto- ja murtositkeysindeksimittauksissa käytetty laite oli Lorentzen & Wettre Tensile Tester (kuvio 20). Mittaukset käytettiin ISO 1924-2:1995 ja SCAN-P 77:95 -standardeja.

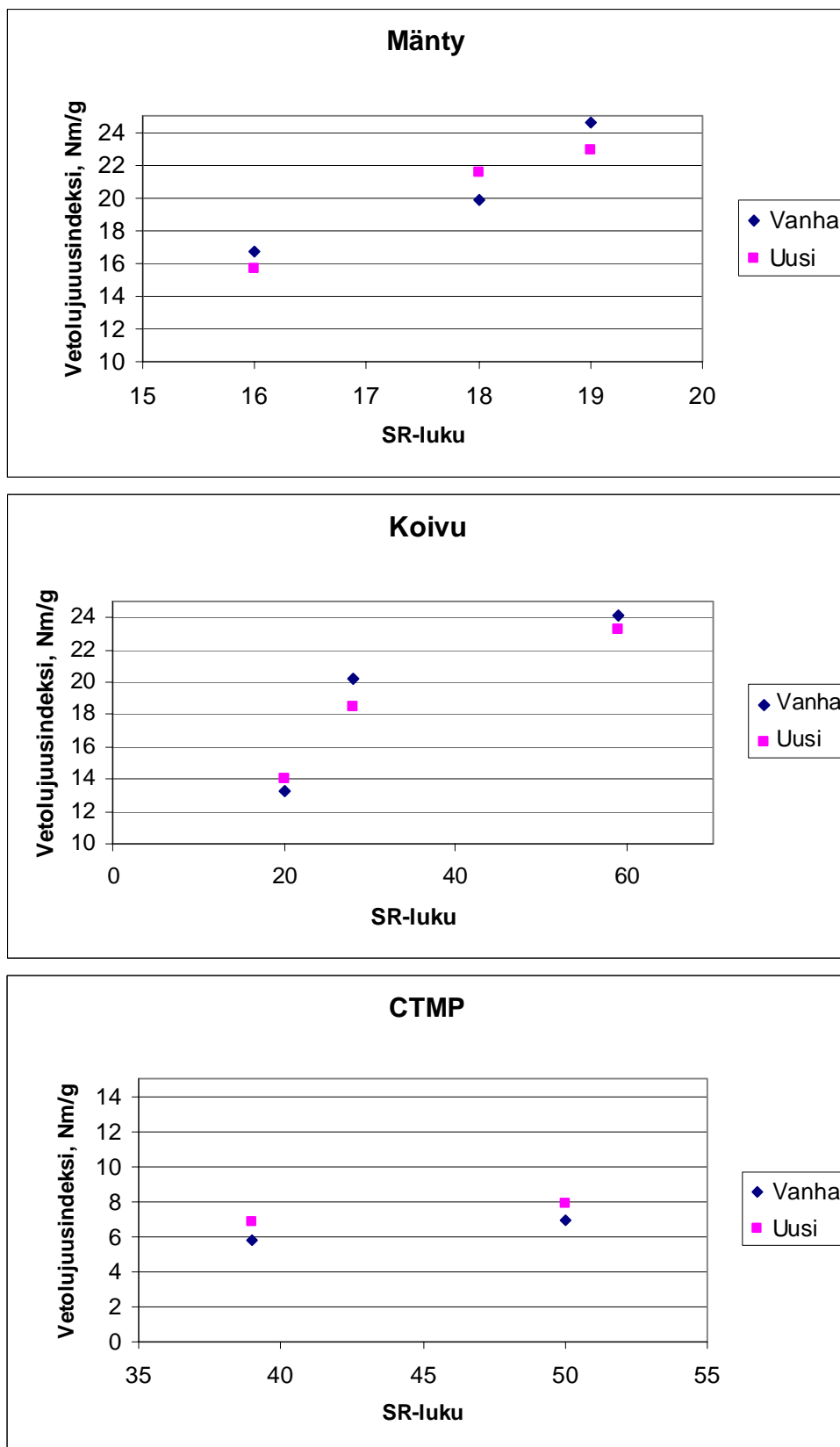


Kuvio 20. Lorentzen & Wettre Tensile Tester

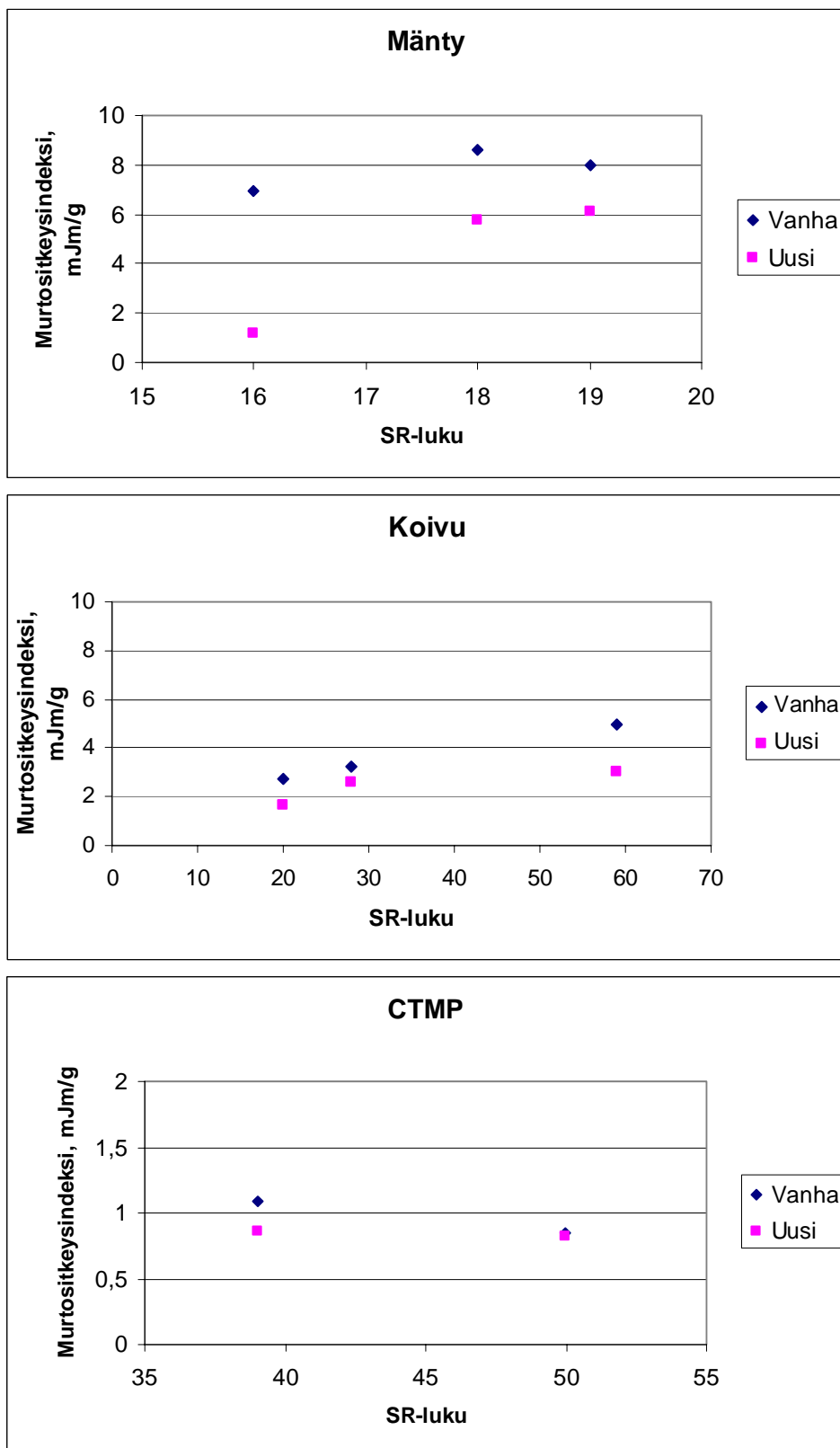
Mittauksista on luettavissa selvästi jauhatuksen vaikutus paperin vetolujuuteen. Sen vaikutus näkyy erityisesti kemiallisten massojen kohdalla. Arkkimuottien väliset erot olivat varsin pieniä. Esimerkiksi kemiallisten massojen vetolujuusindeksiä mitattaessa arkkimuottien paremmuudet vaihtelivat eri jauhatusajoilla. Ainoastaan mekaanisella massalla uuden arkkimuotin arkit olivat lujempia kaikilla jauhatusajoilla. Tuloksia voidaan myös selittää mittausten normaalilla hajonnalla. Mekaanisen massan pienemmät vetolujuudet johtuvat sen sisältämästä ligniinistä, joka huonontaa kuitujen välisten sidosten syntymistä. Mekaanisen massan kuidut eivät myöskään ole yhtä ehyitä ja pitkiä kuin kemiallisen massan, koska mekaanisen massan valmistus aiheuttaa kuituihin rakenteellisia vikoja, jotka heikentävät sen lujuutta (kuvio 21). /6/

Vetolujuusindeksistä poiketen murtositkeysindeksi havaittiin korkeammaksi vanhalla arkkimuotilla kaikissa mittauksissa. Ero oli useita kymmeniä prosentteja kemiallisilla massoilla. Myös murtositkeysindeksi kasvoi tasaisesti molemmilla arkkimuoteilla kemiallisilla massoilla SR-luvun noustessa, mutta erityisen iso ero oli perinteisen ja uuden arkkimuotin välillä mäntysellun murtositkeydessä. Murtositkeysindeksi kasvoi myös kemiallisilla massoilla jauhatusajan kasvaessa ja pieneni mekaanisilla massoilla (kuvio 22).

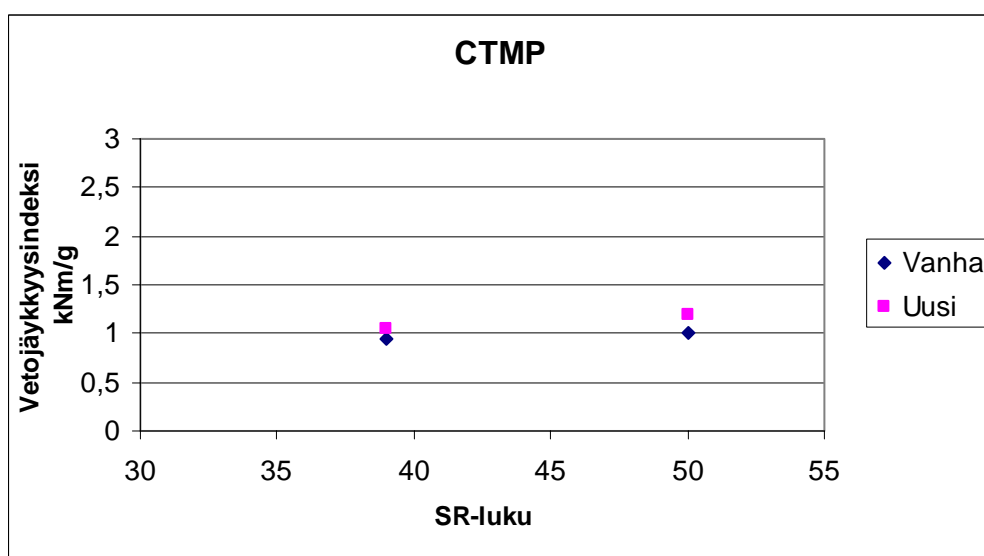
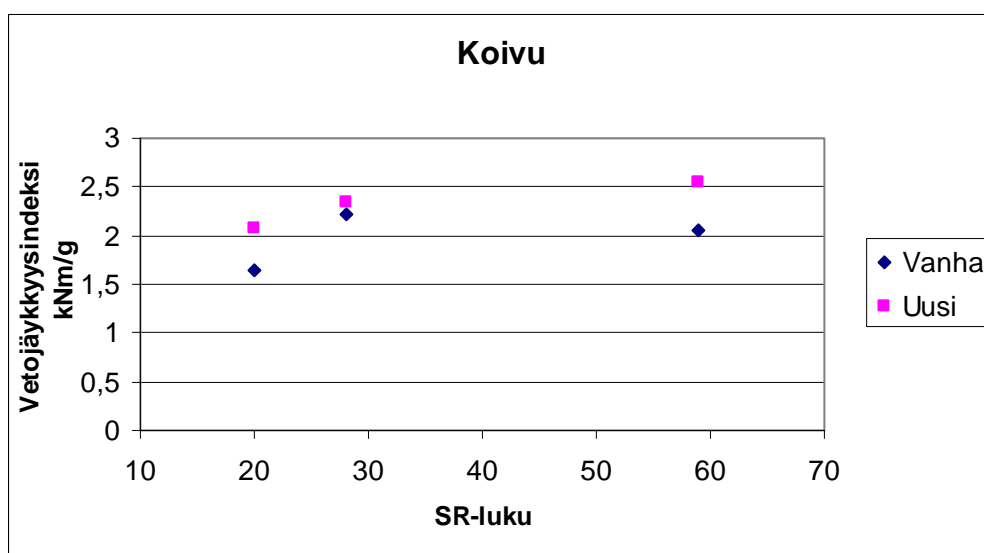
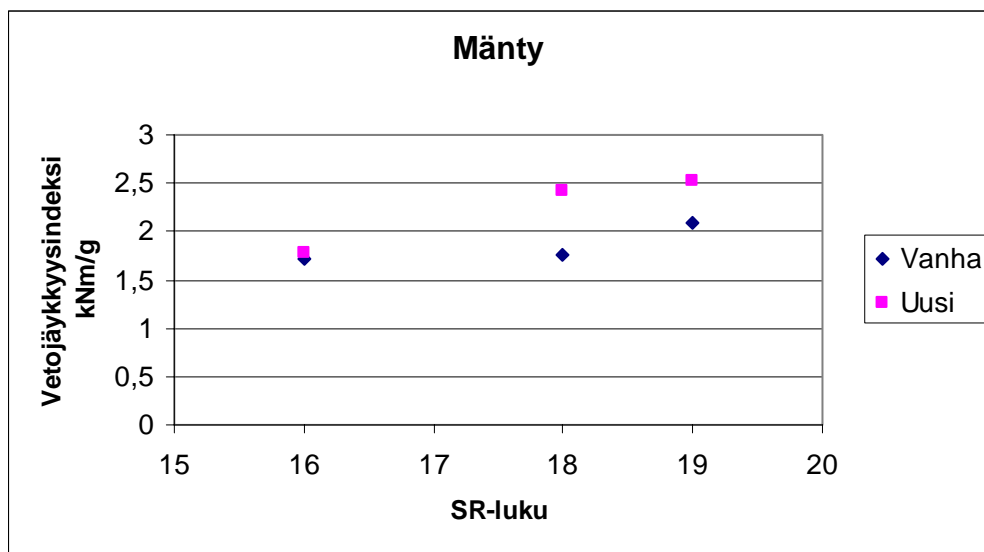
Vetojäykkyysindeksi mitattiin hieman korkeammaksi uudella arkin valmistusjärjestelmällä. Kemiallisilla massoilla erot olivat suurempi kuin mekaanisella massalla valmistetuissa arkeissa. (kuvio 23).



Kuvio 21. Eri massoilla tehtyjen arkkien vetolujuusindeksi esitettynä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla.



Kuvio 22. Eri massoilla tehtyjen arkkien murtositkeysindeksi esitettynä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla.



Kuvio 23. Eri massoilla tehtyjen arkkien vetojäykkyyssindeksi esitettynä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla.

4.6 Z-Lujuus

Z-lujuudella tarkoitetaan paperin ominaisuutta kestää sen pintaan kohdistuvaa z-suuntaista voimaa. Z-lujuus tarkoittaa siis kohtisuoraa paperiin kohdistuvaa kuormitusta, jota yleensä nimitetään myös paperin paksuuden suuntaisena lujjuutena. Z-lujuudesta käytetään myös termiä palstautumislujuus. Z-lujuutta tutkitaan, koska paperiin muodostuu kuormitusta paksuussuunnassa erilaisissa prosesseissa, esimerkiksi offset-painatuksessa. Siinä painofilmin haljetessa tahmeat painovärit vetävät paperin pintaa mukaansa, jossa paperilla ei ole riittävää z-lujuutta. Z-lujuuden kannalta tärkein merkitys on paperin sitoutuneisuudella varsinkin, jos kuidut ovat lyhyitä rasisuussuunnassa, koska sitoutuneisuudella on suurin merkitys paperin z-suuntaisiin ominaisuuksiin /2,6/.

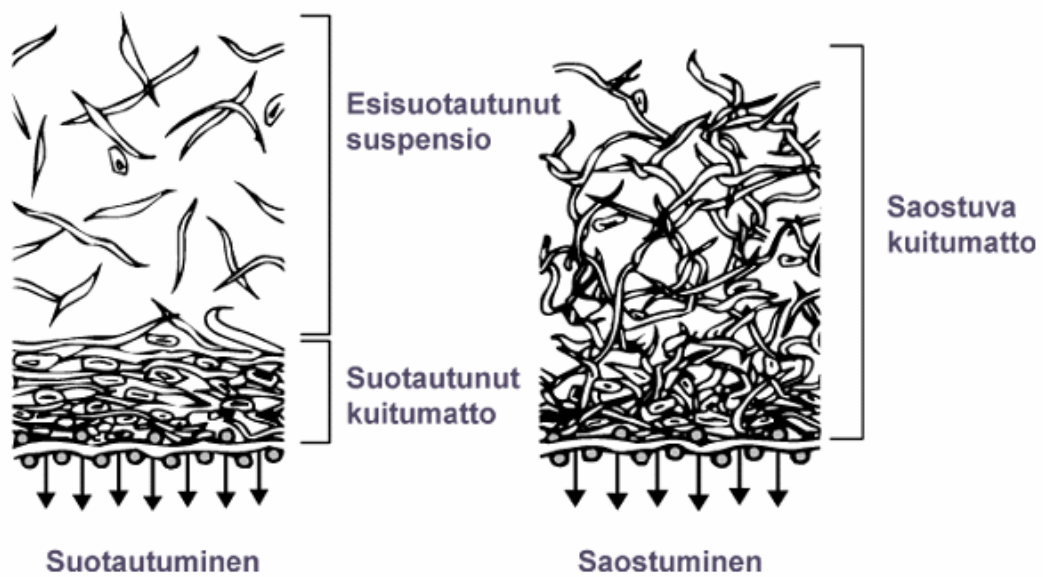
Työssä z-suuntainen lujuus mitattiin Lorentzen & Wettren ZD Tensile Testerillä (kuvio 23). Mittauksessa käytettiin standardia SCAN-P 80:98, mutta rinnakkaismittauksia tehtiin ainoastaan 5 kappaletta massalajia kohti.



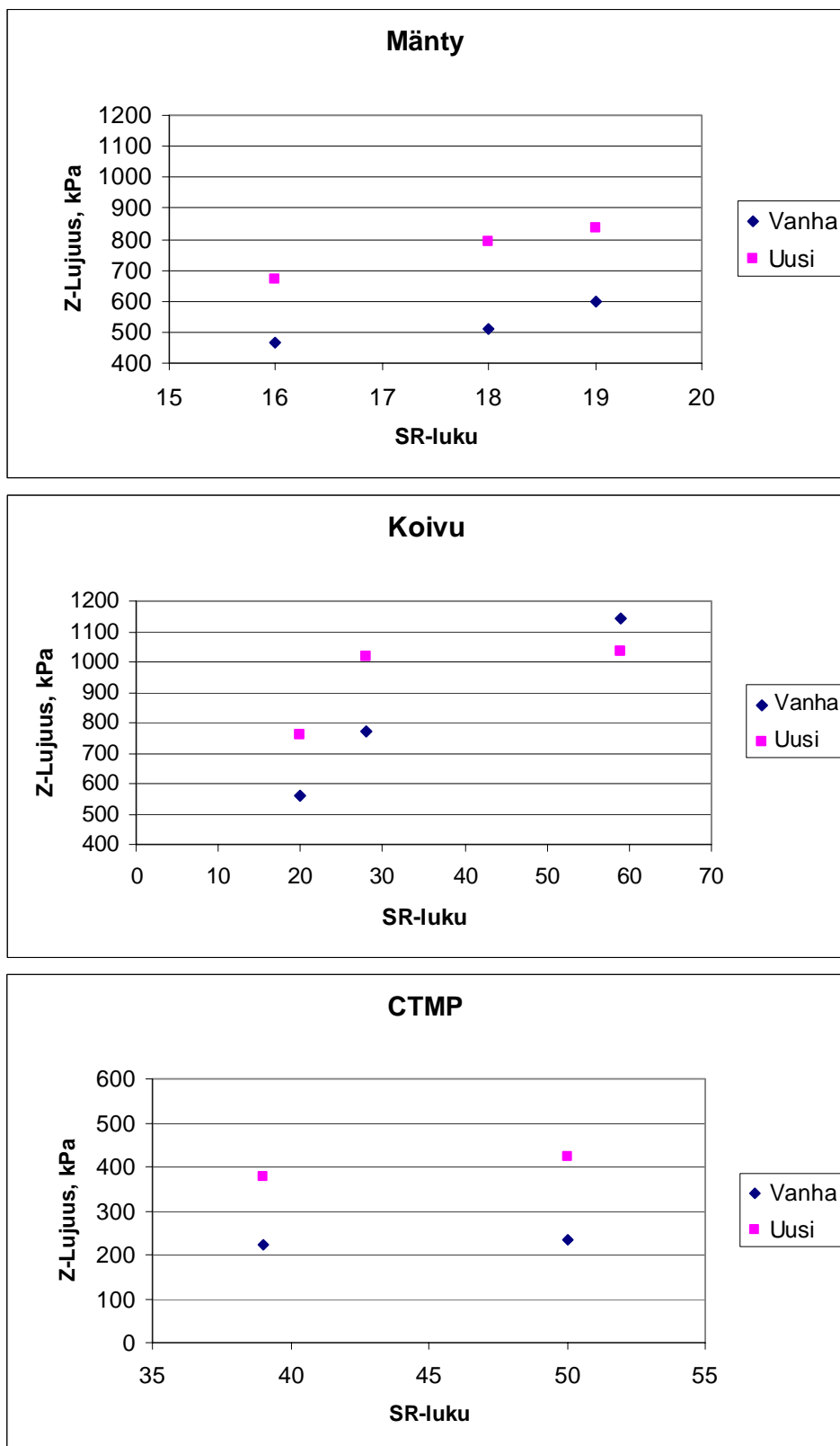
Kuvio 24. Lorentzen & Wettre ZD Tensile Tester

Z-lujuus oli testeissä ainoa lujuusominaisuus, joka oli parempi uudella arkin valmistustavalla. Mittauksista ilmeni useiden satojen kilopascalien eroja uuden ja perinteisen arkkimuotin arkkiä z-lujuuksissa (kuvio 26). Mittauksissa kaikki arvot olivat parempia uudella arkkimuotilla. Erot olivat muutamia satoja kilopascaleja.

Tutkittaessa z-lujuuteen vaikuttavia muuttujia, voidaan arvella eron johtuvan todennäköisesti massan erilaisesta suotautumisesta arkin muodostuksessa. Uudella arkkimuotilla tapahtuu ilmeisesti puhtaampi sakeutuminen, jolloin rainan z-suuntainen rakenne muodostuu homogeenisemmäksi kuin vanhalla arkkimuotilla. Tuloksena on silloin huopautunut rakenne, jossa kuidut sijoittuvat sekaisin ja tällöin muodostuu myös enemmän sidoksia paksuussuunnassa. Vanhalla arkkimuotilla paperin kuidut sijoittuvat enemmän kerroksellisesti ja näin sen z-lujuus on myös heikompi (kuvio 25). /2,6/



Kuvio 25. Vedenpoistomekanismit /6/

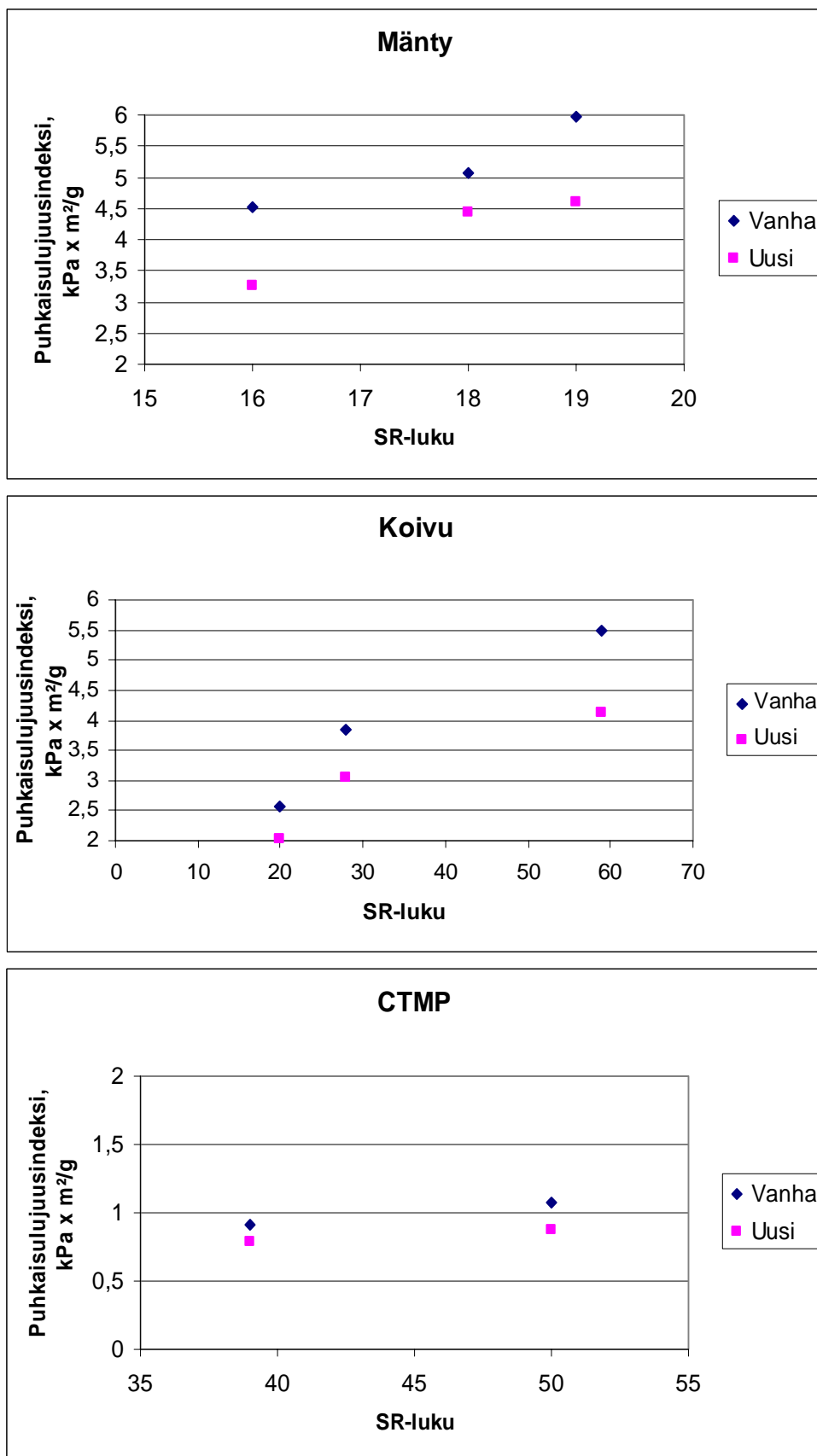


Kuvio 26. Eri massoilla tehtyjen arkkien z-lujuus esitettyinä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla.

4.7 Puhkaisulujuusindeksi

Puhkaisulujuus on mittaluku, jolla kuvataan materiaalin kykyä vastustaa siihen tulevaa hydraulista painetta. Mittauksessa paine kohdistetaan näytteeseen pyöreän ja kimmoisan kalvon välityksellä, kun paperi on rengasmaisesti kiinnitetty kalvon päälle. Puhkaisulujuus on erittäin tärkeä ominaisuus erityisesti pakkausmateriaaleilla. Puhkaisulujuudesta käytettiin työssä indeksiarvoa, jolloin lujuudelle saatiin neliömassasta riippumaton arvo. Mittaukset tehtiin Lorentzen & Wettren puhkaisulujuuslaitteella ja mittauksissa käytettiin standardia ISO 2758:2001. /2,6/

Puhkaisulujuusindeksin mittauksissa jokaisella massalla oli korkeammat lujuudet perinteisellä arkkimuotilla (kuvio 27). Aiemmin mitatut ilmanläpäisymittaukset todistivat uudella arkkimuotilla valmistetuissa arkeissa olevan huokoisempi rakenne ja samalla myös matalampi puhkaisulujuus. Tuloksissa vanhalla arkkimuotilla oli massasta riippuen 0,12 – 0,136 kPa x m²/g korkeampi puhkaisulujuus. Puhkaisulujuusindeksi nousi vetolujuuden tavoin myös jauhatusajan kasvaessa.



Kuvio 27. Eri massoilla tehtyjen arkkien puhkaisulujuusindeksi esitettyinä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla.

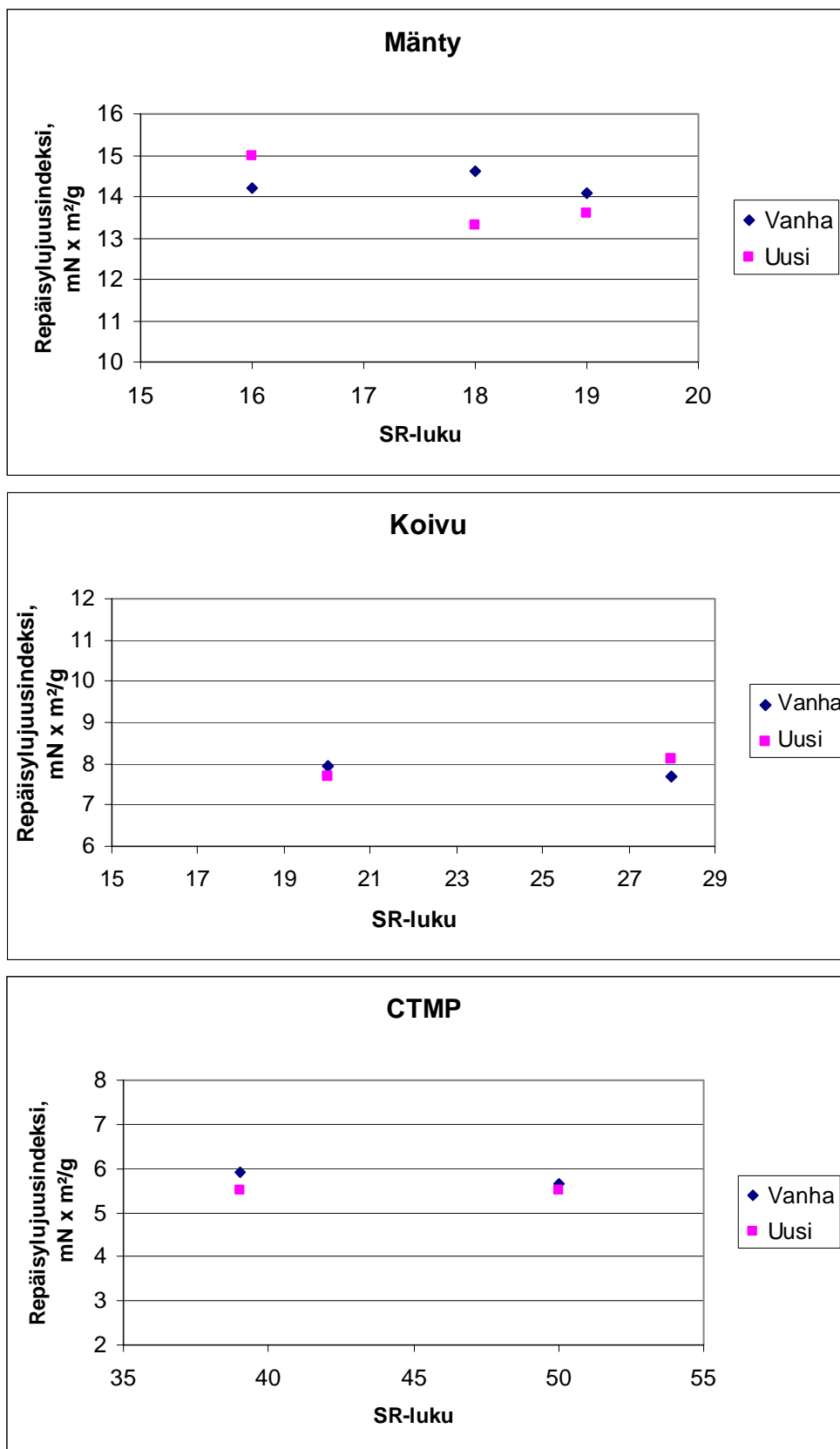
4.8 Repäisylujuusindeksi

Paperin repäisylujuus on tärkeä paperikoneen ajoprosessin kannalta. Repäisylujuudella simuloidaan tilannetta, jossa paperirainan reunaan on tullut jokin vika, esimerkiksi repeämä. Tässä tapauksessa repeämän kohdalla rainan lujuus on pienempi kuin muualla rainassa. Repäisylujuuden voidaan ajatella koostuvan kahdesta komponentista: revittäessä ehyinä säilyneiden kuitujen ulosvetämiseksi tehdystä työstä ja revittäessä katkenneiden kuitujen katkaisemiseksi tehdystä työstä. /2,6/

Jauhatuksen lisääminen ei varsinaisesti paranna paperin repäisylujuutta. Jauhatuksen alussa kuitujen sitoutumiskyky paranee hiukan, mutta samalla kuitujen lujuus heikkenee ja ne katkeilevat. Repäisylujuuden heikkenemistä ei voida kuitenkaan perustella vain kuitujen lujuuden heikkenemisellä ja niiden katkeilulla, koska paperin repäisylujuus heikkenee myös märkäpuristamalla, jolloin ei tapahdu kuitujen lujuuksien heikkenemistä tai kuitujen katkeilua, vaikka repäisylujuus pienenee jauhatuksen tavoin. Repäisylujuus on sitä suurempi, mitä enemmän repäisykohdassa on ehyitä kuituja ja mitä pidempiä ne ovat. Lujuuksissa kuidunpituus vaikuttaa voimakkaimmin repäisylujuuteen ja siksi sellun repäisylujuus on suurempi kuin mekaanisten massojen. /6/

Vetolujuus- ja murtositkeysindeksien tavoin repäisylujuudesta käytetään indeksiä, jolloin saadaan lujuuksille neliömassasta riippumaton arvo. Repäisylujuusmittauksiin käytettiin Lorentzen & Wettren repäisylujuuslaitetta. Mittaus suoritettiin standardin ISO 1974:1990 mukaan, mutta rinnakkaismittausten määrä oli pienempi kuin standardissa.

Erot uuden ja vanhan arkkimuotin välillä jäivät varsin pieniksi myös repäisylujuusindeksissä. Erityisesti koivusellusta ja mekaanisesta massasta tehdyt arkit olivat repäisylujuusindeksiltään lähes samat kaikilla SR-luvun arvoilla. Mäntysellussa havaittiin hieman suurempia eroja, mutta samalla eroja oli myös arkkimuottien välillä. (kuvio 28), mutta erot repäisylujuusindeksissä johtuvat osittain mittaustulosten hajonnasta.



Kuvio 28. Eri massoilla tehtyjen arkkien repäisylujuusindeksi esitettynä SR-luvun funktiona uudella ja perinteisellä arkin valmistuslaitteistolla.

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Loppupäätelmien teko työssä havaituista eroista muodostui lopulta helpoksi. Valmistettuihin arkkeihin syntyi suuriakin eroja arkkimuottien välillä. Perusominaisuusmittauksissa todettiin pientä eroa arkkimuottien välillä. Perusominaisuuksiin vaikuttivat massojen laimennuksissa tehdyt mittausrvirheet, eivät niinkään arkkimuottien erot.

Suurin yksittäinen ero arkkimuottien välillä havaittiin karheudessa. Huomattavan sileyseron tunsi jo ilman varsinaisia karheusmittauksia. Uudella arkkimuotilla mitatut erot olivat enimmillään yli 300 % suurempia kuin perinteisellä arkkimuotilla, jonka aiheutti perinteisen arkkimuotin huomattavasti sileämmät imu- ja peitekartongit.

Myös ilmanläpäisyn huomattiin olevan korkeampi uudella arkkimuotilla. Uudella laitteistolla tehdyissä arkeissa mitattiin 13 % - 148 % korkeampia tuloksia. Ilmanläpäisy myös pieneni jauhatuksen lisääntyessä, jolloin kuitujen välisten sidosten määrä kasvaa ja samalla niiden välissä olevien huokosten määrä pienenee.

Optisissa mittauksissa arkkien opasiteetti, vaaleus ja valon sironta pienenivät jauhatusajan kasvaessa ja niille saatiin uudella arkkimuotilla tehdyistä arkeista myös korkeammat arvot. Opasiteetissa mitattiin 1 – 5 prosenttiyksikön eroja, jotka johtuivat osin laitteistojen eroista, mutta hieman myös vaihtelevista arkkien neliömassoista. Kemiallisilla massoilla arkkimuottien välillä vaaleuserot vaihtelivat alle prosentin eroista viiteen prosenttiin ja valon sironnassa kahdesta yhdeksään prosenttiin.

Mekaanisesta massasta valmistettujen arkkien valoa sirottava rajapinta kasvoi, koska kaikki sen hienoaineen partikkelit eivät sitoudu. Tämän seurauksena myös mekaanisesta massasta valmistettujen arkkien vaaleus ja valon sironta kasvoivat jauhatusajan kasvaessa.

Eri arkkimuoteilla valmistettujen arkkien erot johtuvat erilaisesta puristuksesta. Perinteisellä arkkimuotilla oli pitempi puristusaika, joka edisti kuitujen välisien kosketuskohtien syntymistä ja kuitujen litistymistä ja näin pienensi arkin valon sironta, ja siten paperi kyky heijastaa valoa takaisin pieneni.

Lujuusominaisuuksista z-lujuus oli ainoa, joka mitattiin selvästi paremmaksi uudella arkkimuotilla. Sillä saatiin 30 - 80 % lujempia arkkeja kuin perinteisellä arkkimuotilla. Z-lujuuden eron aiheutti ilmeisesti uudella arkkimuotilla tapahtuva puhtaampi sakeutuminen, jolloin rainaan muodostuu enemmän sidoksia myös paksuussuunnassa.

Arkkien vetolujuusindeksit kasvoivat jauhatusajan kasvaessa. Mittauksissa ei saatu arkkimuottien välille merkittävää eroa vetolujuusindeksissä. Arkkien repäisylujuusindeksit eivät myöskään eronneet uudella ja perinteisellä arkkimuotilla merkittävästi toisistaan. Vetojäykkyysindeksi oli uudella arkkimuotilla valmistetuissa arkeissa 5 % - 40 % korkeampi kuin perinteisellä arkkimuotilla valmistetuissa.

Perinteisellä arkkimuotilla valmistetuissa arkeissa mitattiin osin korkeammat murtositkeys- ja puhkaisulujuusindeksit. Puhkaisulujuuden perinteisellä arkkimuotilla mitatut arvot olivat 15 % - 35 % suurempia kuin uudella arkkimuotilla tehdyt. Murtositkeysindeksit olivat mekaanisella massalla mittaushajonnan sisällä pidemmästä jauhatuksesta tehdyillä arkeilla vain 4 % korkeampia kuin uudella, mutta perinteisellä arkkimuotilla mäntysellun lyhytkestoisimmasta jauhatuksesta tehdyillä arkeilla murtositkeysindeksi kasvoi 480 % verrattuna uudella tehtyihin. Muiden massojen kohdalla perinteisellä arkkimuotilla murtositkeysindeksi pysyi 25 % - 70 % korkeampana kuin uudella arkkimuotilla.

Yhteenvedona voidaankin sanoa uuden arkin valmistustavan muodostavan sileämmän pinnan, korkeamman palstautumislujuuden ja optisilta ominaisuuksiltaan korkealaatuisemman pinnan omaavan arkin, mutta samalla arkkien puhkaisulujuus- ja murtositkeysindeksi heikkenevät. Taulukossa 3 on esitetty yhteenvedo ominaisuuksien eroista eri arkkimuoteilla.

Taulukko 3. Uudella arkkimuotilla valmistettujen ominaisuuksien vertailu perinteisen arkkimuotin arkkeihin verrattuna eri massoilla.

Perus- ja pintaominaisuudet	mäntysellu	koivusellu	CTMP
Tiheys	Uudella n. 5 % suurempi	Ei merkittävää eroa	Uudella n. 3 % suurempi
Sileys	Uudella 200 % - 270 % suurempi	Uudella 130 % - 330 % suurempi	Uudella 240 % - 330 % suurempi
Ilmanläpäisevyys	Uudella 30 % - 100 % suurempi	Uudella 30 % - 150 % suurempi	Uudella 0 – 20 % suurempi
Optiset ominaisuudet	mäntysellu	koivusellu	CTMP
Vaaleus	Uudella alle 7 % suurempi	Uudella alle 9 % suurempi	Ei merkittävää eroa
Opasiteetti	Uudella alle 5 % suurempi	Uudella alle 8 % suurempi	Uudella alle 5 % suurempi
Valonsironta	Uudella 5 % - 30 % suurempi	Uudella 10 % - 35 % suurempi	Uudella 5 % - 25 % suurempi
Absorptio	Ei merkittävää eroa	Ei merkittävää eroa	Ei merkittävää eroa
Lujuusominaisuudet	mäntysellu	koivusellu	CTMP
Vetolujuusindeksi	Ei merkittävää eroa	Ei merkittävää eroa	Ei merkittävää eroa
Repäisyjujuusindeksi	Ei merkittävää eroa	Ei merkittävää eroa	Ei merkittävää eroa
Murtositkeysindeksi	Perinteisellä 30 % - 50 % suurempi	Perinteisellä 25 % - 70 % suurempi	Perinteisellä 5 % - 30 % suurempi
Puhkaisulujuusindeksi	Perinteisellä 15 % - 35 % suurempi	Perinteisellä 25 % - 35 % suurempi	Perinteisellä 10 % - 20 % suurempi
Z-suuntainen lujuus	Uudella 40 % - 55 % suurempi	Uudella noin 35 % suurempi	Uudella noin 80 % suurempi
Vetojäykkyysindeksi	Uudella 5 % - 40 % suurempi	Uudella 5 % - 30 % suurempi	Uudella 10 % - 20 % suurempi

Lähdeluettelo

Painetut lähteet

1. Seppälä M, Klemetti U, Kortelainen V, Lyytikäinen J, Siitonen H, Sironen R, Kemiallinen Metsäteollisuus, Paperimassan valmistus, Opetushallitus 2004
2. Häggblom-Ahnger U, Komulainen P, Paperin ja kartongin valmistus, Kemiallinen metsäteollisuus 2, Paperin ja Kartongin valmistus, Opetushallitus 2003
3. Aaltonen P, Kuituraaka-aineen ja paperin testausmenetelmiä 492, Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratorio, Otakustantamo 1986
4. Lorentzen & Wettre Tensile Tester käyttöohje, Lorentzen & Wettre
5. Uuden arkin valmistuslaitteiston käyttöohje, Lorentzen & Wettre

Sähköiset lähteet

6. VTT Tuotteet ja tuotanto. KnowPap Versio 9.0. VTT tuotteet ja tuotanto.[online][viitattu 6.2.2009]. Saatavissa: file:///book/knowpap/suomi/knowpap_system/user_interfaces/tuotantoprosessit/papvalm.htm. 2008.
7. OY Lorentzen & Wettre AB. [www-sivu].[viitattu 4.2.2009] Saatavissa: <http://www.lorentzen-wettre.com/>

Mittaustulokset uudella ja perinteissä arkkimuotilla tehdyistä mänty- ja koivusellu sekä CTMP-arkeista

Liite 1 1(2)

	Mänty I	Mänty II	Mänty III	Koivu I	Koivu II	Koivu III	CTMP I	CTMP II
Jauhatusaika	20	40	60	15	30	60	30	45
SR-Luku	16	18	19	20	28	59	39	50
FR-Luku	660	640	560	510	350	230	310	250

Arkkimuotti	Yksikkö	Vanha	Uusi	Vanha	Uusi	Vanha	Uusi	Vanha	Uusi	Vanha	Uusi	Vanha	Uusi	Vanha	Uusi	Vanha	Uusi
Neliömassa	g/m ²	62,44	64,34	67,02	65,66	70,84	68,83	66,31	64,59	66,4	64,89	65,91	62,34	65,64	64,59	65,07	65,4
Paksuus	µm	100,5	99,8	105,1	95,7	107,7	102,5	100,4	99,2	94,3	93,1	86,2	79,3	148,6	142,6	153	149,4
Karheus Viirapuoli	ml/min	1457	504	1468	479	1511	421	961	415	803	364	1202	322	2564	599	2237	543
Karheus	ml/min	1484	429	1471	400	1465	420	948	274	833	194	1094	157	3004	897	2511	634
Ilmanläpäisy Viirapuoli	ml/min	2380	3161	967,6	1748	576,7	1180	2099	2810	359,7	893,7	8,79	32	2130	2538	1620	1442
Ilmanläpäisy	ml/min	2335	3194	922,1	1689	598,5	1183	2122	2799	363,4	888,4	8,83	32,17	2047	2541	1357	1448
Opasiteetti	%	67,63	72,68	70,17	71,4	70,79	73,16	76,29	77,24	70,84	74,84	67,41	72,29	84,45	87,54	85,66	87,92
Opasiteetti hajonta	%	2,93	0,64	0,67	0,69	0,98	0,82	0,31	0,55	3,43	0,44	1,9	0,38	2,28	0,48	0,77	0,52
Vaaleus	%	77,44	82,32	78,1	80,1	79,94	79,85	81,67	82,48	79,65	83,85	71,05	76,69	63,56	65,84	66,69	66,49
Vaaleus hajonta	%	0,67	0,16	0,3	0,2	0,1	0,79	0,22	0,55	1,93	0,24	0,68	0,51	1,18	0,71	0,18	0,46
Valon sironta	m ² /kg	22,45	29,12	23,47	26,19	23,47	26,15	32,33	35,07	24,99	32,57	18,62	25,88	34,63	43,01	39,78	43,44
Valon sironta hajonta	m ² /kg	2,52	0,75	0,6	0,71	0,9	0,84	0,44	0,85	3,51	0,6	1,26	0,37	3,44	1,06	1,53	1,2
Valon absorptio	m ² /kg	0,3	0,21	0,27	0,25	0,22	0,27	0,25	0,25	0,24	0,19	0,48	0,41	1,07	1,11	0,94	1,11
Tiheys	kg/m ³	616,9	644,7	637,7	686,1	657,8	671,5	660,5	651,1	704,1	697	764,6	786,1	441,7	452,9	425,3	437,8

Mittaustulokset uudella ja perinteissä arkkimuotilla tehdyistä mänty- ja koivusellu sekä CTMP-arkeista

Liite 1 2(2)

	Mänty I	Mänty II	Mänty III	Koivu I	Koivu II	Koivu III	CTMP I	CTMP II
Jauhatusaika	20	40	60	15	30	60	30	45
SR-Luku	16	18	19	20	28	59	39	50
FR-Luku	660	640	560	510	350	230	310	250

Arkkimuotti	Yksikkö	Vanha	Uusi	Vanha	Uusi	Vanha	Uusi	Vanha	Uusi	Vanha	Uusi	Vanha	Uusi	Vanha	Uusi	Vanha	Uusi
Vetolujuus	N/m	1040	1010	1330	1410	1740	1580	880	907	1340	1200	1590	1450	379	439	448	517
Vetolujuus indeksi	Nm/g	16,74	15,67	19,86	21,52	24,63	22,9	13,27	14,04	20,19	18,44	24,11	23,23	5,78	6,79	6,89	7,91
Vetolujuusind. hajonta	%	10,2	7,6	23,8	5,0	6,0	7,8	4,0	2,8	9,9	3,8	5,8	4,5	17,2	8,1	12,2	6,2
Murtositkeys	J/m	0,431	0,077	0,575	0,379	0,564	0,421	0,181	0,107	0,215	0,167	0,329	0,186	0,72	0,056	0,055	0,054
Murtositkeys indeksi	mJm/g	6,9	1,2	8,6	5,8	8,0	6,1	2,7	1,7	3,2	2,6	5,0	3,0	1,1	0,86	0,85	0,82
Murtositk.ind. hajonta	%	17	10	9	14	32	18	9	13	25	10	16	15	15	11	14	10
Z-Lujuus	kPa	469	670	509	790	597	835	561	762	771	1019	1143	1037	223	378	234	423
Z-lujuus hajonta	kPa	110	16	33	30	20	22	19	20	397	19	31	31	26	13	23	17
Puhkaisulujuus	kPa	282	210	339	291	423	317	170	131	254	198	362	258	60	51	70	58
Puhkaisulujuusindeksi	kPa x m ² /g	4,52	3,26	5,06	4,43	5,97	4,61	2,56	2,03	3,83	3,05	5,49	4,14	0,91	0,79	1,08	0,87
Puhkaisulujuus hajonta	%	7,6	5,9	5,3	8	4,7	6,5	7,3	7,7	3,8	6,5	4,8	11,6	13,7	5,7	8,8	5,8
Repäisylujuus	mN	889	966	976	875	1002	941	526	498	510	528	XXX	XXX	389	355	367	360
Repäisylujuusindeksi	mN x m ² /g	14,2	15	14,6	13,3	14,1	13,6	7,94	7,71	7,67	8,13	XXX	XXX	5,92	5,49	5,64	5,5
Rep.luj.ind. hajonta	mN x m ² /g	0,797	1,477	0,849	0,725	0,694	1,216	0,593	1,007	0,227	0,958	XXX	XXX	0,521	0,366	0,675	0,457
Vetojäykkyyssindeksi	kNm/g	1,71	1,78	1,76	2,42	2,08	2,52	1,64	2,08	2,22	2,35	2,06	2,55	0,95	1,05	1,01	1,2
Veto. Jäyk. Ind. hajonta	%	12	7	18	6	4	5	2	3	11	3	3	4	20	6	9	9